ISBN:978-602-17652-2-7

MANAJEMEN BENCANA
DARI ITS UNTUK BANGSA

Pusat Studi Kebumian Bencana dan Perubahan Iklim (PSKBPI)
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Manajemen Bencana

Dari ITS Untuk Bangsa

ISBN: 978-602-17652-2-7

Editor :
Amien Widodo, Machsus, Nurlaili Humaidah, Tatas, Adjie Pamungkas, Cahyono Bintang Nurcahyo, Isa Irawan, Tridani Widyastuti, Ipung Fitri Purwanti, Dian Rahmawati, Karina Pradinie, Wien Lestari, Ketut Dewi Martha Erli H dan M.Hafiizh Imaaduddin.

Setting dan Layout :
Sucipto, Andy Herlambang, Ahmad Qomaruddin A, Lintang Pertiwi, Widya Arrya, Nance Arsita dan Ardha Bayu A

Penerbit:
Pusat Studi Kebumian Bencana dan Perubahan Iklim (PSKBPI)
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Surabaya

Manajemen Bencana

Dari ITS Untuk Bangsa

SEKAPUR SIRIH

Posisi Indonesia terletak di kawasan geologi aktif karena ditekan oleh tiga lempeng besar yang sudah bekerja bergerak sejak jutaan tahun yang lalu. Lempeng itu terdiri dari Lempeng Samudra hindia-Australia yang bergerak kearah utara, Lempeng Samudra Pasifik yang bergerak ke arah barat dan Lempeng Benua Eurasia yang bergerak ke arah selatan. Aktivitas tektonik ini akan diikuti terjadinya gempa, tsunami dan gunung api serta pembentukan pengunungan. Indonesia juga terletak di kawasan iklim tropis yang banyak hujannya dengan konsekuensi terjadi erosi, longsor, banjir bandang dan banjir. Peristiwa alam itu akan datang silih berganti karena merupakan peristiwa biasa sebagai bagian dari dinamika bumi-atmosfir yang sudah berlangsung sebelum manusia ada dan sampai sekarang masih terus berlangsung. Peristiwa alam itu akan berulang dengan periode tertentu, bisa tahunan, sepuluh tahunan, lima puluh tahunan bahkan ratusan tahun.

Manusia diciptakan dan didatangkan di bumi dengan tugas yang jelas sebagai pengelola yang menyayangi alam semesta. Keberadaan manusia secara almiah membutuhkan papan, sandang dan pangan serta bereproduksi. Pertumbuhan penduduk meningkat tajam sehingga kebutuhan papan, sandang dan pangan semakin meningkat pula, sehingga masyarakat mendekati atau bermukim di kawasan rawan. Awalnya gempa, tsunami, gunung meletus, erosi, longsor, banjir bandang dan banjir merupakan peristiwa alam biasa berubah menjadi bencana karena telah berdampak pada manusia. Seiring pertumbuhan penduduk terjadi peningkatan kemampuan akal manusia sehingga kebutuhan menjadi meningkat berlipat-lipat, sehingga manusia semakin rentan terkena bencana.

Pada hakikatnya bencana tidak pernah membunuh tapi **tidak tahu dan tidak mau tahu** bisa menyebabkan kita terbunuh. Ketidak tahuan tentang gempa akan membuat kita tidak merasakan getaran dan atau goyangan, sehingga saat terjadi gempa kita tidak melakukan respon segera tetapi setelah banyak yang runtuh baru bergerak menghindar. Respon yang terlambat ini akan berakibat terjadi kepanikan karena tidak berjalannya pikiran normal dan kalau yang tidak tahu jumlahnya banyak maka terjadi kepanikan massal (*chaos*). Ketidak tahuan juga menyebabkan kebingungan sehingga mempercayai isu-isu dan ramalan yang biasanya berkembang bersamaan dengan munculnya bencana. Faktor ketidak mau tahuan muncul setelah jumlah penduduk semakin banyak dan kemiskinan juga semakin banyak sehingga muncul masyarakat yang tidak memperdulikan keadaan sekitar. Misalnya, kebutuhan papan yang semakin luas mengakibatkan terjadinya perambahan kawasan yang mestinya tidak boleh dihuni. Budaya masyarakat juga berperan terhadap respon bencana, seperti selama ini sebagian besar rakyat menganggap bencana sebagai sesuatu musibah yang harus dan layak diterima oleh masyarakat, dan usulan upaya penanganan sebelum terjadi bencana masih dianggap suatu upaya yang mengada-ada. Kita terbiasa bereaksi setelah bencana itu terjadi.

Pusat Studi Kebumian Bencana dan Perubahan (PSKBPI) merupakan salah satu pusat studi Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Pusat ini dibentuk untuk menjalankan visi dan misi ITS dalam rangka berperan secara aktif dalam pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni,

terutama di bidang kelautan, permukiman dan energi yang berwawasan lingkungan melalui kegiatan penelitian yang berkualitas internasional. Dengan memanfaatkan segala sumber daya yang dimiliki untuk ikut serta dalam menyelesaikan problem-problem yang dihadapi oleh masyarakat.

Pusat studi ini terus berusaha membangun kesadaran dan kepedulian terhadap bencana, khususnya civitas ITS dan umumnya masyarakat di Surabaya dan Jawa Timur. Bersamaan dengan itu, kita juga membangun jejaring dengan berbagai pemangku kepentingan yang bergerak di bidang kebumian, bencana, dan perubahan iklim baik nasional, regional ataupun internasional. Beberapa jejaring yang menjadi partner PSKBPI, antara lain : Gubernur Jawa Timur, BNPB, BPBD Jawa Timur, BPBD Kabupaten/Kota di provinsi Jawa Timur, Satkorlak PB Kota Surabaya, PVMBG Badan Geologi, MPBI, Forum PT PRB, UNICEF, UNDP, UN OCHA, UNEP, UNDAC, SCDRR, AUSAID, USAID, OXFAM, GTZ, Paklim GIZ, LSM, dan masyarakat.

Buku ini merupakan hasil penelitian para dosen ITS baik melalui Kementerian Pendidikan maupun hasil dari kerja sama dengan jejaring yang sudah dibangun ITS. Tujuan dari penulisan buku ini sebagai bentuk pertanggungan jawab ITS dalam menggunakan dana masyarakat. Harapannya buku ini bisa menjadi pegangan semua orang dalam rang mengurangi risiko bencana dan perubahan iklim.

Selanjutnya, melalui kesempatan ini kami menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Tim Penyusun Buku dan Panitia Seminar Hasil Penelitian PSKBPI-LPPM-ITS, yang telah menghimpun publikasi hasil-hasil penelitian dari kalangan akademisi ITS tentang kebencanaan, kebumian dan perubahan iklim, sehingga pemikiran dari ITS mengenai manajemen bencana dapat dituangkan dan disumbangkan bagi kepentingan bangsa Indonesia. Penghargaan dan ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada berbagai pihak, baik lembaga pemerintah maupun non-pemerintah yang telah berkenan memberikan kontribusi hingga buku ini dapat diterbitkan.

Akhirnya, kami tentu tidak lupa untuk senantiasa menghaturkan rasa syukur kehadirat Allah S.W.T, yang selalu memberikan petunjuk kepada ITS dalam setiap ikhtiarnya untuk turut serta menjadi bagian dari solusi berbagai agenda persoalan kebangsaan, khususnya terkait dengan manajemen bencana.

Rektor ITS

Prof. Ir. Joni Hermana,MScES.,Ph.D.

Manajemen Bencana

Dari ITS Untuk Bangsa

HANTARAN

Bencana Gempa, Tsunami, Gunung api dan Longsor

- **Bagian 1 Seismologi** memberikan analisis teknis penjalaran gelombang gempa dan pengaruhnya pada bangunan dan tsunami
- **Bagian 2 Kerentanan Bangunan Terhadap Gempa** mengantarkan cara analisis dan penilaian kerentanan bangunan terhadap gempa dan pengembangan teknologi pemaantauan kesehatan bangunan
- **Bagian 3 Likuifaksi, Tanah Longsor dan Gunung** api memaparkan hasil pemetaan bawah permukaan berdasarkan data geoteknik dan data geofisika untuk menilai kerentanan tanah untuk terlikufaksi dan longsor. Pemanfaatan pesawat tanpa awak untuk pemetaan dampak letusan gunung api.
- **Bagian 4 Pemodelan Bencana** mengantarkan berbagai model pengurangan dampak bencana dan penerapan teknologi tepat guna

Bencana Semburan Lumpur

- **Bagian 1 Ancaman Semburan Lumpur** menyajikan analisis teknik dampak semburan lumpur terhadap kondisi fisik di sekitarnya
- **Bagian 2 Evaluasi Dampak Semburan Lumpur** memaparkan hasil kajian dampak semburan terhdap sosial ekonomi, lingkungan, sungai dan pantai
- **Bagian 3 Strategi Penanggulangan Lumpur** berisi strategi penanggulangan lumpur secara menyeluruh

Bencana Teknologi

- **Bagian 1 Pemetaan Risiko Bencana Industri** menyajikan cara pemetaan bencana industri di Indonesia, bencana teknologi dan kecelakaan
- **Bagian 2 Manajemen Risiko** mengantarkan cara analisis manajemen risiko dengan berbagai pendekatan pengembangan sistem informasi bencana berbasis android

Manajemen Bencana

Dari ITS Untuk Bangsa

DAFTAR ISI

S velocity structure between the hypocenter of December 30, 1995 earthquake in Alaska and observational stations DPC, COR, DGR and ERM

Bagus Jaya Santosa
Jurusan Fisika, Fmipa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email : bjs@physics.its.ac.id

Abstract – *The S velocity structure in Western Alaska is investigated by seismogram fitting due the 12/30/1995 earthquake at several observation stations around it, which are Dobruzka, Czech Republic (DPC); Domenigeni Valley Reservoir, CA, USA (DGR); Corvallis, OR, USA (COR); and Erimo, Hokkaido, Japan (ERM), in time domain and three components simultaneously. Seismogram synthetic is calculated using GEMINI program, yielding a complete seismogram, where program's input is a radial, symmetric and transversal isotropic earth models and the earthquake's CMT solution. Seismogram comparison is executed in time domain, and prior to it is imposed by a low-pass filter of 20 mHz. There are significant discrepancies on the waveforms from S wave until surface wave. Seismogram fitting between the measured and the synthetic seismogram is conducted. The fitting is obtained through altering the gradient of βh speed in upper mantle and values of zeroed order coefficients of speed functions in the earth mantle layers till a depth of 670 km. The resulted fitting is obtained in Love, Rayleigh and S waveforms. The corrected earth models show that the S speed structure has negative anomaly in the upper mantle.*

Keywords : *S Velocity Structure, Waveform analysis, 3 components*

I. Introduction

Alaska area, which is located on the North East of Pacific Ocean Ring of Fire, is an area of tectonic in front zone of plate collision between the Pacific plate and the North American continent plate in the form of subducting Ocean plate below the continental plate.

According to Ref.[1], at subduction areas in Alaska, due to the collisions between continental and ocean plates, the structure of the soil that experience compression (side Ocean plate) will show positive speed anomalies. On the contrary, observed velocity of the continental shelf area shows negative anomalies. This kind of velocity structure is obtained by inverting P wave travel time data [2—4]. This research interprets S velocity structure, which is obtained from the shear wave, in the front zone of the same subduction zone through seismogram analysis in time domain and three components of ground movement.

Quantitative analysis that can be performed on a seismogram is measuring the arrival time of wave phases and dispersion analysis on surface waves. The most easily obtainable data is P wave arrival time, because it is the first break. Ref.[1] use P wave arrival time data in their research. S waves arrival time on a station with small epicenter distance is more difficult to measure, because it has longer period and not a first-breaks and is located in a noisy environment.

The standard isotropic Earth Models PREM[5] and IASP91[6], are often used as a reference in the regional seismological research as an initial Earth model. Most seismologists have interpret the model Earth in this research area (Alaska) using travel time data and Rayleigh wave dispersion data only based on one component z[7],[4], [8—11].

In this study the Earth model in front of subduction zone in Alaska was examined through seismogram comparison of 12/30/1995, coded using old CMT format as B123095A earthquake which hypocenter is located in Alaska subduction zone, in the time domain, the waveform of S, Love and Rayleigh surface waves will be observed. The Earth model obtained by processing travel time data was retested whether it can result synthetic seismogram which

Published online at http://journal.sapub.org/geo

resembles the observed one. The entirety of the information contained in the seismogram was used to test the Earth models.

II. Research Methodology

The earthquakes analysed in this study took place in the centre of Alaska, USA. Seismogram Data is obtained from Databank Centre (see http://dmc.iris.washington.edu), where data is accessed through the webpage. Earthquake produces ground movement, which is recorded by a station in the direction of the three local Cartesian components (North-South, East-West and Z vertical), in the receiving station.

The observational stations are located at DGR, DPC, COR and ERM. The ground movement is a complex 3-dimensional space. To alter the components of the ground movement into P-SV and SH wave, then the horizontal plane formed by the local N-S and E-W axes at receiving stations must be rotated, such that local 'North' of the observation station is directed at small arc from the observation station to the earthquake epicentre (back-azimuth). Redirection is required to satisfy the wave propagation theorem, that the complex ground movement can be described into P-SV wave in z, r and SH components in the t component.

Figure 1. The locations of DGR, DPC, COR, ERM observation stations and earthquake epicenter

In this study, the first step is to run a computer program to calculate the travel time of the main body waves, the P and S wave and their repetitions. The TTIMES Program[12] is retrieved from http://orfeus.knmi.nl. TTIMES Program can only calculate travel time of synthetic body waves, it can't calculate the surface's wave travel time. The amplitude of the body wave decays to the inverse of distance, while surface waves have greater amplitude, because the amplitude only decays as the inverse of the root square of distance. Therefore, at a great epicenter distance, the amplitude of body also decays greatly. Surface waves propagate horizontally along the Earth surface to a depth that is 'equal' to the wavelength[13]. Surface waves travel time cannot be calculated, but is clearly visible in the seismogram, with larger amplitude, long oscillation and arrived after S wave. GEMINI Program[14-15] used to produce a complete synthetic seismogram, including body waves and surface waves, also core reflected wave. When this program is executed, an Earth model has to be given as an input. As input, data must contain complete elastic parameters, i.e. propagation velocity of P and S waves of rocks that constitutes the Earth's structure, mass density, quality factor and also vertical anisotropy[16]. PREM Earth model is mostly formed from P wave time travel data phase and a small portion of S wave travel time data, so that the elastic parameters obtained is P wave velocity which is more accurate and the S wave velocity which is less accurate. The other elastic parameters (mass density, anisotropy, damping factor μ and □□ on PREMAN Earth model obtained by inverting seismogram through dispersion analysis and method of normal model. In addition to data about the Earth's model, information is also needed on the position of the hypocenter, the moment tensor and energy released by the earthquake. All the details can be seen in the CMT catalog solution [17].

In order to compare the observed and synthetic seismogram, they should have same unit, so the response files of observed seismogram, which obtained from the requested seed file, are convoluted to the observed seismogram. This file contains the description of the phase and amplitude changes on the system equipment that involved in the entire process of earthquakes data recording, when the seismometer sensor changes ground movement input from mm/s into Voltage mV.

III. Discussion and Analysis

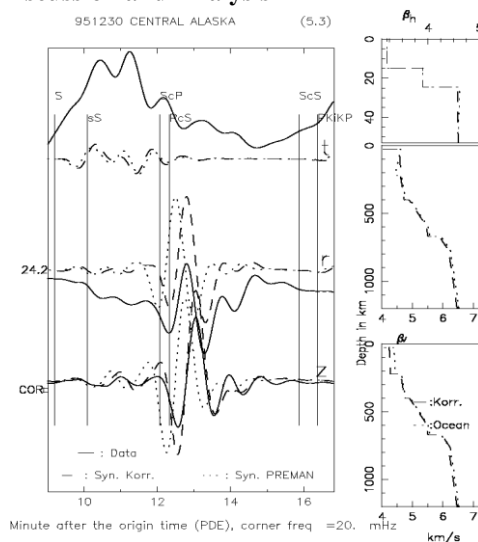



Figure 2. Seismogram analysis and fitting of B123095A earthquake at COR station

Figure 2 presents the seismogram analysis and fittings of B123095A earthquake at COR observation station, which is located South-East of the epicenter. The dotted curve reveals synthetic seismogram that is calculated from PREMAN Earth model, observed from *z* and *r* components with large amplitude is Rayleigh surface waves. Synthetic seismogram from PREMAN gives Rayleigh wave which arrived earlier than the observed Rayleigh. A well fitting is provided

by synthetic seismogram from corrected Earth model on this Rayleigh surface wave phase. We can see a nice fitting which is also obtained on several phases of body wave, with smaller wave amplitude located earlier than the Rayleigh waves. Fitting is obtained by adding small value on zero-order coefficients on the velocity function in the Earth layers, from the Earth's crust down to mantle layers.

b. Love wave

a. Love wave

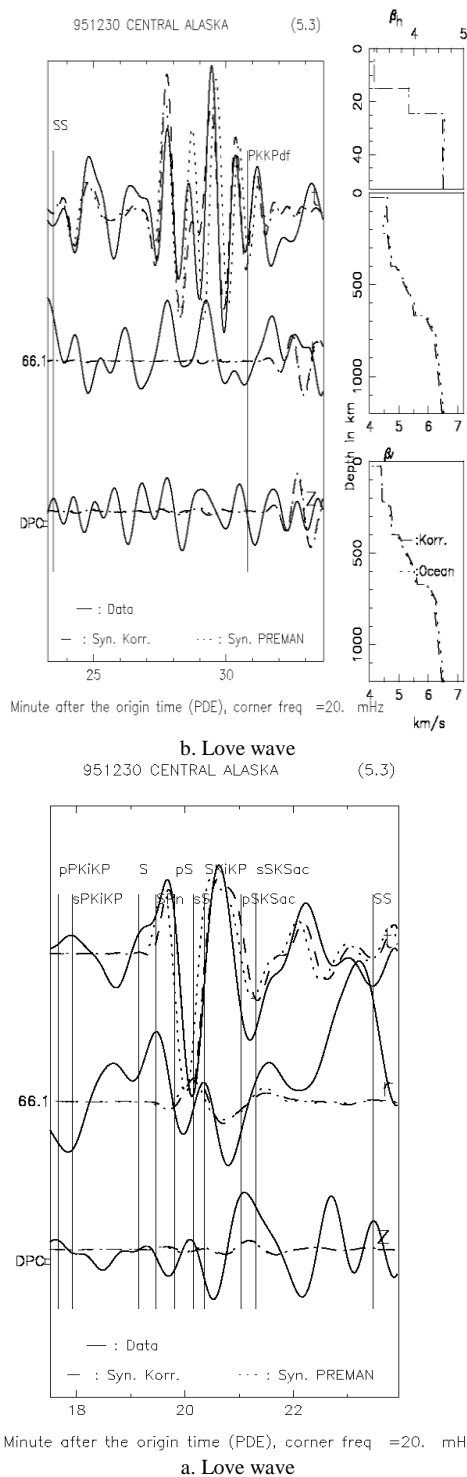



Figure 3. Seismogram analysis and fitting of B123095A earthquake on DPC station, time window a. surface wave and b. S wave

Figure 3a displays seismogram analysis and fitting on observation station DPC, which is located North-East from B123095A earthquake epicenter. If we can only analyze the components of the P-SV wave, which are Rayleigh wave and several body wave phases on COR station. Contrary, on DPC station we can clearly see the transversal component, i.e. SSH and Love surface waves, with a large amplitude. PREMAN synthetic seismogram provides Love wave with 5 wave maximum, indeed the first maximum located near the observed one, but the next maximums PREMAN synthetic Love waves arrive later than the observed maximum waves. To obtain a good fitting on the first, third and further maximums of the Love wave, the velocity gradient in the upper mantle is converted from negative, as stated in PREM anisotropic Earth model, into positive values, and then it compared with negative gradient on the PREMAN Earth model, and also by altering the values of the zero-order coefficients on the velocity structure coefficients β from upper mantle until Earth mantle below. Changes of coefficients value are required in order to obtain great fitting on the SSH body wave. Figure 3b displays that seismogram fitting is also obtained on wave S. To obtain the fitting on the S wave, S velocity change is implemented on earth mantle layers until a depth of 670 km. This means, negative anomalies in the structure of the velocity also happens to this depth, not only occur in the upper mantle.

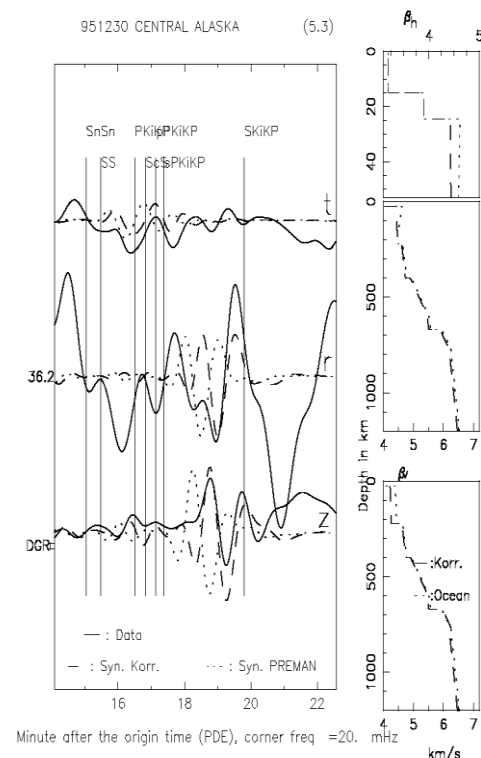



Figure 4. Seismogram analysis and fitting of B123095A earthquake on DGR station

Figure 4 presents seismogram comparison on DGR observation station. PREMAN earth model provides Love wave that arrives earlier than observed Love wave. This means the velocity correction β_h is negatives in the upper mantle. Correction on the velocity structure β_v in the upper mantle is also negative, to get the fitting on the Rayleigh wave. A good Fitting can also be obtained on the SS wave, see trace z on 16' minutes. This indicates that the S negative anomaly also occurs until depth of 670 km.

Figure 5 shows seismogram fitting on ERM stations on the vertical movement of *z* component, because the data on the two other components of the seismogram, which is radial and transversal (each notation is *r* and *t*) gives very bad measured signal, swayed, so for signal range that is supposed to be idle, it gives a huge turn-off. To obtain this fitting, velocity structure β in the upper mantle must be reduced, because Rayleigh synthetic wave from PREMAN arrived earlier. Velocity correction must also be implemented in deeper layers, although only smaller correction factor, because S phase from PREMAN still come earlier than the observed S wave.

Seismogram comparison on COR, DGR and ERM stations, where all three are located in front of the subduction zone stated that the S velocity structure in this area also have negative velocity anomalies, such as negative anomaly on P velocity which is the[1] research conclusion.

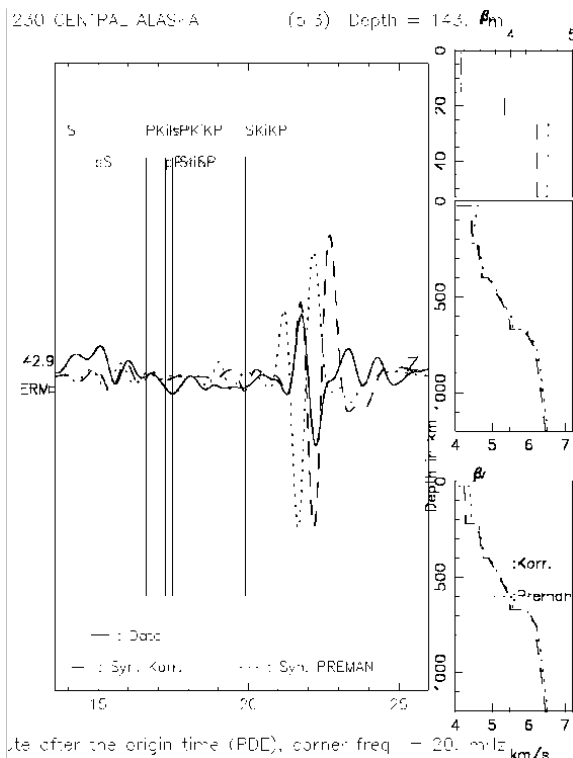



Figure 5. Seismogram analysis and fitting of B123095A earthquake on ERM station

IV. Conclusions

This research carries out seismogram analysis in time domain and the three Cartesian components simultaneously, to obtain more complete information in the seismogram, compared to the analysis using only wave phase travel time and analysis of dispersion.

Simulation and comparison of seismogram can only be made up to 20 mHz frequency, because significant discrepancies has been observed on surface waves and S waves. At higher frequencies, e.g. with corner frequency of 45 mHz, strong discrepancies in the waveform shows Earth model that deviates from the supposed model.

On 20 mHz corner frequency, surface waves propagate to a depth equal to the upper mantle, thus fitting can be obtained by changing the velocity structure until upper mantle layer, where changes are made on a velocity gradient with respect to depth. Changes in the upper mantle structure did not bring improvements to the S wave phase. Further correction was carried out on the shear wave velocity propagation structure on deeper Earth layers, until a good fitting obtained on S wave. Results of this research show that the S velocity structure in front zone of the subduction zone in Alaska subsurface also has negative anomalies, such as P velocity anomaly.

REFERENCES

[1] Engdahl, E.R. and Gubbins, D., Simultaneous travel time inversion for earthquake location and subduction zone-structure in the Central Aleutian Islands, Journ. Geophys. Research, 92 (1987), B1, 13.855 -- 13.862

[2] Cheng Qi, Dapeng Zhao, Yong Chen, Natalia A. Ruppert, 2007. New insight into the crust and upper mantle structure under Alaska, Polar Science 1, 85 – 100.

[3] Jolly, A.D., Moran, S.C., McNutt, S.R., Stone, D.B. 2007. Three-dimensional P-wave velocity structure derived from local earthquakes at the Katmai group of volcanoes, Alaska. Journal of Volcanology and Geothermal Research 159, 326–342

[4] Zhao, D., 2004. Global tomographic images of mantle plumes and subducting slabs: insight into deep Earth dynamics. Phys. Earth Planet. Int. 146, 3–34.

[5] Dziewonski, A.M. and Anderson, D.L., Preliminary reference Earth model, Phys. of the Earth and Plan. Int., 25 (1981), 297 – 356

[6] Kennett, B.L.N. Engdahl, E.R. and Buland R., 1995. Constraints on seismic velocities in the

Earth from travel times, Geophys J Int, 122, 108 – 124.

[7] Zhao, D., Christinsen, D. and Pulpans, H., 1995, Tomographic imaging of the Alaska subduction zone, Jour. Geophy. Res., 100, B4 , 6487 – 6504.

[8] Fiona A. D., 2005, Upper mantle structure of Arctic Canada from Rayleigh wave dispersion, Tectonophysics, In Press.

[9] Ritsema, J., van Heijst, H.J., Woodhouse, J.H., 2004. Global transition zone tomography. J. Geophys. Res. 109, doi:10.1029/2003JB002610.

[10] Vuan,A., Maurice, S.D.R., Wiens, D.A. and Panza, G.F., Crustal and upper mantle S-wave velocity structure beneath the Bransfield Strait (West Antarctica) from regional surface wave tomography, Tectonophysics, 397 (2005), 241 – 259.

[11] Dalton, C.A., Ekström, G., Dziewonski, A.M., 2008. The global attenuation structure of the upper mantle. J. Geophys. Res., 113, http://dx.doi.org/10.1029/2007JB005429

[12] Bulland, R. and Chapman, C., Travel time Calculation, BSSA, 73 (1983), 1271 – 1302.

[13] Friederich W., Regionale, dreidimensionale Strukturmodelle des oberen Mantel aus der wellentheoritischen Inversion teleseismischer Oberflaechen-wellen, Berichte des Instituts fuer Geophysik der Universitaet Stuttgart, 9, 1997.

[14] Dalkolmo, J., 1993, Synthetische Seismogramme fuer eine sphaerisch symmetrische, nichtrotierende Erde durch direkte Berechnung der Greenschen Funktion, Diplomarbeit, Inst. fuer Geophys., Uni. Stuttgart.

[15] Friederich, W. and Dalkolmo, J., Complete synthetic seismograms for a spherically symmetric earth by a numerical computation of the green's function in the frequency domain, Geophys. J. Int., 122 (1995), 537-550.

[16] Takeuchi, H. and Saito, M., Seismic surface waves in Computational Physics, Academic Press, 1972

[17] Dreger, D.S., “Time-Domain Moment Tensor INVerse Code (TDMT_INVC)”, The Berkeley Seismological Laboratory (BSL), report number 8511, 2002.

Valuation of Building strength against earthquake Vibrations using Microtremor Analysis (case study: the city of Surabaya)

A.S. Bahri[1], D.N. Aini[2], M.A. Lutfie[3]
1. Jurusan Teknik Geomatika FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Jurusan Teknik Fisika FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
3.Jurusan Teknik Fisika FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: syaeful_b@geofisika.its.ac.id

Intisari – *Potensi besar kerusakan suatu wilayah akibat bencana gempa bumi tidak hanya ditentukan dari magnitudo gempa dan jarak pusat gempa dengan wilayah tersebut. Tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi topografi dan geologi dekat permukaan juga berperan penting dalam memperbesar tingkat kerusakan. Diperlukan penaksiran kekuatan bangunan terhadap getaran gempa bumi dengan metoda geofisika, dalam hal ini menggunakan analisis mikrotremor. Pengukuran Mikrotremor dan Analisisnya:* ***studi kasus Kota Surabaya****, bertujuan untuk mengetahui bangunan rawan gempa dengan menentukan indeks kerentanan bangunan terhadap getaran gempa dan kemungkinan resonansi bangunan terhadap tanah yang menyebar di seluruh wilayah penelitian. Dalam hal ini, data mikrotremor yang diukur di tanah dianalisis menggunakan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) dan data mikrotremor yang terukur di bangunan dianalisis menggunakan metode analisis spektrum, FSR (Floor Spectral Ratio) dan RDM (Random Decreement Method). Penelitian dilakukan pada sepuluh bangunan yang menyebar di seluruh wilayah Kota Surabaya dengan kriteria bangunan lebih dari satu lantai; bangunan milik pemerintah, bangunan bersejarah dan bangunan umum. Didapatkan bahwa terdapat tujuh bangunan yang memiliki tingkat resonansi rendah, dua bangunan yang memiliki tingkat resonansi rendah-sedang, dan satu bangunan yang memiliki tingkat resonansi tinggi. Indeks kerentanan bangunan minimum pada arah horisontal EW (East-West) adalah 4.55 dan arah NS (North-South) adalah 4.14. sedangkan indeks kerentanan maksimum pada arah horisontal EW (East-West) adalah 143.47 dan arah NS (North-South) adalah 171.233.*

Kata kunci: *Gempa bumi, mikrotremor, resonansi, indeks kerentanan*

Abstrak – *Great potential damage was caused by an area of the earthquake is not only determined from the earthquake magnitude and epicenter distance to the region. But also are effected by the topography and geology of near surface also plays an important role in increasing the level of damage. Therefore, it is necessary to force assessment of buildings against earthquake vibrations using microtremor analysis of case studies of Surabaya, which aims to determine the earthquake-prone buildings to determine the vulnerability of buildings against earthquake vibrations and possibility of resonance structure-soil in the study area. Microtremor measured in grounds was analyzed using the HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) and microtremor measured in buildings were analyzed using spectrum analysis method, FSR (Floor Spectral Ratio) and RDM (Random Decrement Method). The study was conducted on ten-borne buildings throughout the region with the criteria of more than one story buildings, government buildings, historic buildings and public buildings. It has been showed that there are seven buildings that have low levels of resonance, the two buildings have low to medium level resonance, and the buildings have a high level of resonance. Minimum building vulnerability index in the horizontal direction EW (East-West) is 4:55 and the NS direction (North-South) is 4.14 while the maximum vulnerability index in the horizontal direction EW (East-West) is 143.47 and the NS direction (North-South) is 171 233.*

Kata kunci: *earthquake, microtremor, resonance, vulnerability*

I. INTRODUCTION

Topographically, the city of Surabaya is located in the northern part of the Java island which is dominated by lowland. The majority (80%) of the region is alluvial deposits that spread along the Porong and Surabaya River and the rest is low rolling hills formed by weathering of tersier/old rocks (Sukardi, 1992). According to Nakamura et al. (2000), if a region with geological conditions near the surface in the form of alluvial sediment, sandstone, tuff and clay then the region had a greater potential to ground vibration intensity due to the amplification of the vibration of the ground and the interaction of the soil-structure during earthquake. Soft sedimentary rocks can amplify (strengthen) the ground vibration during the earthquake occurred (Tuladhar, 2002). Therefore, the average earthquakes damage is more severe than areas with near surface in the form of hard rock. This is proved by the devastating earthquake of 1985 Mexico. Although the distance to the earthquake epicenter Mexico City is no less than 390 Km, but the damage occurs very severe due to the amplification of horizontal wave acceleration in Mexico City. This is due to the fact that Mexico City consist of soft soil deposits from compacted bogs with the shear wave velocity of 40 - 90 m/s (Towhata, 2008; Tuladhar, 2002)

Therefore, geophysical microzonation activity needs to be conducted in the form of building strength estimation using microtremor analysis by a case study in the city of Surabaya to know the earthquake prone buildings by determining natural frequency, specify the vulnerability index of buildings against earthquake vibrations and possible soil-structures resonance which spread throughout the research.

II. THEORY

A. Geology and Surabaya Seismicity

The 80% of the Surabaya area dominated by soft alluvial deposits that spread along the Porong and Surabaya River and the rest is low rolling hills formed by soil weathering results of tertiary rocks/old located in the subduction zone

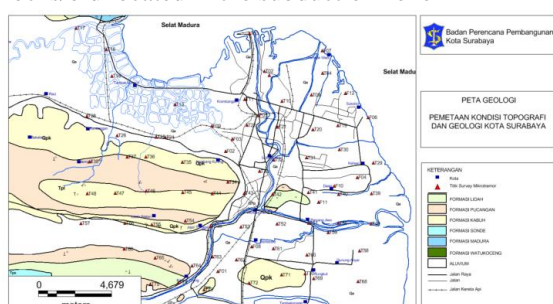



Figure 1 Geological map of Surabaya (Sukardi, 1992) with the physiography of mid-Kendeng hills, mid Rembang-Madura hills, north Java alluvium, mid East Java and east of Randublatung curve. The stratigraphic order exposed consists of alluvium deposits (Qa) Kabuh formation (Qpk), Pucangan Formation (Qtp) and the Lidah formation (Tpl).

Judging from the condition of its seismicity, Surabaya is crossed by two active faults that can trigger the occurrence of earthquakes in Surabaya and its surrounding area, namely the fault in the subduction zones along the South of Java with a distance of about 300 Km South of Surabaya and Lasem strike slip fault which is located about 75 Km Northwest of Surabaya. In addition, there is a passive fault located around Surabaya, Watukosek fault that extends from Mount Penanggungan through Sidoarjo Mud Volcano to Gunung Anyar to Madura (Sawolo et al., 2009). Irwan dkk. (2010) states that Surabaya is located in the class 5 seismicity zone with the PGA values (Peak Ground Acceleration) of 0.15 - 0.2 g, so that Surabaya has is potentially vulnerable to earthquake hazard.

B. Local site effect from Earthquake

The local site effect, i.e. the local geological and topographic conditions, is one of the causes of destructive earthquakes (Nakamura, Sato et al., 2000; Herak et al., 2009; Warnana, Quarterly dkk., 2011). Towhata (2008) explains that the relationship of the intensity of the earthquake damage to a region are affected by the quake epicenter, distance scale, the size of the earthquake fault zone, the energy released rocks, geological type between the source and the local geological conditions. Differences in local conditions in a region with other regions due to the variation of geological formations, the thickness and physical properties of rocks and soils, surface water and depths of bedrocks, and also underground structures above the region (Oliveira, 2006)

C. Microtremor

Microtremor is a quake vibrations that propagate with the amplitude of the order of micrometers brought about by natural events (e.g. wind and ocean waves) or artificial (e.g., industrial machinery and vehicles) (Tokimatsu, 1995). This method was introduced by Kanai and Tanaka (1961) and is applied by Nakamura (1989) with the proposed method HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) to estimate natural frequencies and amplification of the local geology of the microtremor data. Later this evolved in the way that

the method is able to estimate ground and building vulnerability indices, interaction of soil- structure, and damping ratio of building. In this study, the HVSR method is used to data analysis of microtremor measured in ground and spectral methods, RDM, and FSR for the microtremor data measured in the building. According to Gosar (2010), in a microtremor analysis of a building, HVSR method is not recommended to despite the natural frequency of its estimation result is logical. This is caused by there is no basic theory in its application so that it cannot be assumed that vertical and horizontal spectrum on the underground levelis the same.

III. METHOD

A. Analysis of Microtremor data measured in Ground

This research uses a set of portable microtremor instrument consists of three component digital seismograph station with short period manufactured by Taurus (Canada) with short-period seismograph feedback sensor type DS-4A and equipped digitizer (Data Logger). Microtremor measurement of the soil conducted on 10 point location, adjacent to the building that will be analyzed.

Geopsy software is use for the data processing. Each vertical and horizontal components of the spectrum is divided into 20-40 S long window tapper with 5% cosine function. Furthermore, the analysis of Fourier spectral of each window will change the initial microtremor data from time domain into the frequency domain. Smoothing process of FFT results implement Konno Ohmachi (1998) filter, with bandwidth coefficient of 40.

Smoothed data is analyzed to use amplitude spectrum ratio (H/V spectrum ratio) method of the two amplitude of horizontal and one vertical Fourier spectral being estimated using Equation (1) (Nakamura, 2000):

$$R(T) = \frac{\sqrt{F_{NS}(T)^2 + F_{EW}(T)^2}}{F_Z(T)} \quad (1)$$

with:

R(T) = horizontal to vertical (*H/* V) ratio spectral

F_{NS}, F_{EW} and F_Z *are Fourier Spectral in NS, EW* and Z (vertical), respectively.

Furthermore, spectrum is plotted as the H/V spectral for each measurement point. Typically, the frequency of peak of H/V spectrum is the natural frequency of the local site effect. Therefore, estimation of vulnerability index of ground can be determined from natural frequency and and amplification.

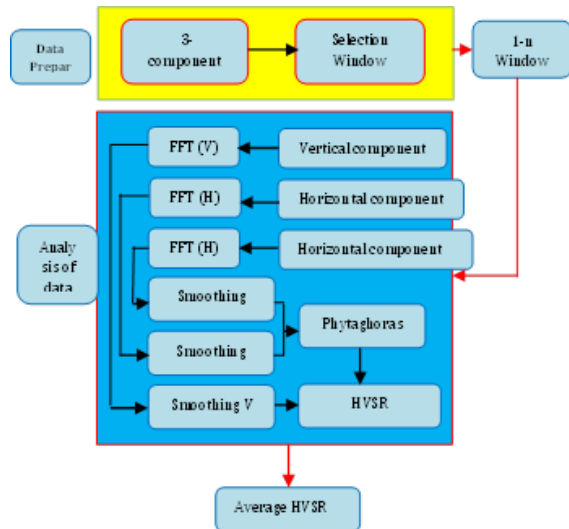



Figure 2. Flowchart of HVSR curve analysis on microtremor data measured in the ground.

B. Analysis of Microtremor measured in building

Microtremor Data taken on 10 buildings spread on the whole area of Surabaya (table 1) with the criteria of public buildings, Government buildings and historic buildings. Parallel with the above activities, also taken soil data that represents the subsurface Geologic conditions of each building.

Microtremor measured in building recorded along 15 minutes each floor of the building, and 20 minutes for the ground using the same process of measurements.

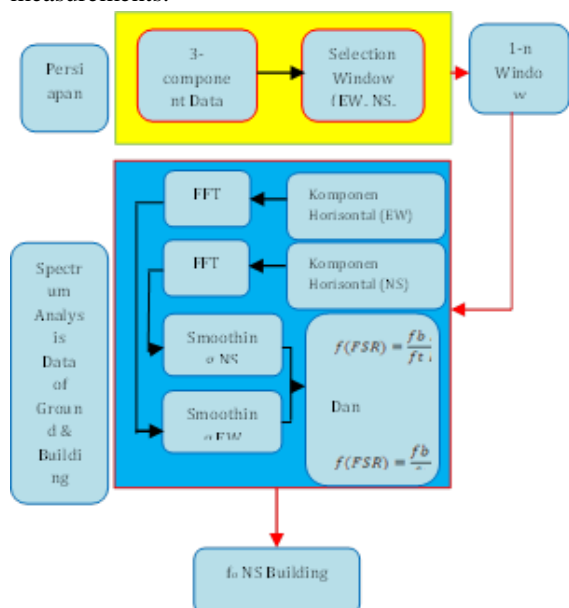



Figure 3 Flowchart of FSR method to analysis microtremor data measured in buildings.

Analysis of Microtremor data measured on building used three methods, namely; spectral analysis, RDM and FSR. Spectral analysis is done by dividing the window spectrum and continued with FFT (Fast Fourier Transform) analysis. Because the result of the FFT analysis is random, Ohmachi Konno (1998) smoothing technique is used with a bandwidth of 40. Calculation of average spectrum of the entire window is then applied. The natural frequency is identified as the frequency with largest peak amplitude.

RDM analysis is based on Dunand et al. (2002). Natural frequency analysis obtained from Hilbert Transform (HT), while damping ratio is obtained by matching between RDM curves with damping curve wave calculation based on the square root of the smallest error.

FSR analysis is useful to estimate transfer function of a building with the comparison of microtremor measured in buildings and ground.

The natural frequency of the horizontal component is determined based on the maximum amplitude, then the parameters resulted by the estimation FSR, is used to estimate the vulnerability index of buildings.

To find out the possible soil-structures resonance underneath when the earthquake occurred, the calculation is done based on the following equation;

$$R = \left|\frac{fb-ft}{ft}\right| x\ 100\% \quad (2)$$

Gosar (2010) classify the vulnerability level of soil-structures resonances against earthquake in three criteria, i.e. high vulnerability to the difference frequency ±15%, medium vulnerability for 15-25% values and low vulnerability for higher than 25%.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The natural frequency in the ground shows geological structure in the local area. The magnitude of natural frequency is inversely proportional to the depth of bedrocks and is directly proportional to the velocity or the average density of the subsurface structure of the local.

Table 1. Analysis result of ground and building microtremor and resulted ground natural frequency, building natural frequency and building resonance to the ground (R : Low, RS : Low-Medium dan T : High).

No	Code	Building	Ground	Ground F (Hz)	Damping Ratio		Building Spectrum		Building RDM		Building FSR		Resonance
					EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	
1	M11	Lt. 1 Graha Pena	T53	1.3094	-	-	1.99101	1.17132	-	-	-	-	-
2	M15	Lt. 5 Graha Pena	T53	1.3094	1.93	3.16	1.55565	1.78176	1.62	1.76	1.51773	1.61431	RS
3	M110	Lt. 10 Graha Pena	T53	1.3094	34.94	5.81	1.73834	1.59451	1.64	1.61	1.51773	1.51773	RS
4	M115	Lt. 15 Graha Pena	T53	1.3094	41.13	35.79	1.51773	1.55565	1.63	1.98	1.61431	1.63435	RS
5	M122	Lt. 22 Graha Pena	T53	1.3094	18.85	19.4	1.63435	1.59451	1.78	1.81	1.55565	1.53657	RS
6	M31	Lt.1 Hotel Antariksa	T11	1.2124	-	-	2.74399	2.67711	-	-	2.45561	2.4861	R
7	M33	Lt.3 Hotel Antariksa	T11	1.2124	1.76	1.66	2.84745	2.67711	2.74	2.74	2.67711	2.57984	R
8	M52	Lt.2 Sukolilo Dian Regency	T39	2.3511	1.36	6.86	1.44465	1.35823	1.38	1.27	1.37509	1.30888	R
9	M521	Lt.21 Sukolilo Dian Regency	T39	2.3511	17.09	16.47	1.15696	1.06124	1.43	1.49	1.15696	1.01014	R
10	M62	Lt.2 POLDA JATIM	T62	1.1576	10.52	12.6	2.2804	2.74399	2.33	2.79	2.19754	2.74399	R
11	M63	Lt.3 POLDA JATIM	T62	1.1576	7.15	7	2.30871	2.71034	2.45	2.55	2.25244	2.77805	R
12	M97	Lt.7 Gedung Keuangan Negara	T22	1.1756	7.79	5.96	1.18586	1.20058	1.32	1.19	1.21549	1.18586	T
13	M92	Lt.2 Gedung Keuangan Negara	T22	1.1756	7.03	6.1	1.23058	1.12876	1.2	1.22	1.27698	1.10125	T
14	M114	Lt.4 PDAM Surabaya	T32	1.2894	6.73	7.85	2.95482	2.95482	2.95	2.88	2.95482	2.91859	R
15	M123	Lt.3 Intiland Tower	T33	2.3151	4.29	1.37	1.03537	1.15696	1.07	1.15	1.03537	1.12876	R
16	M1211	Lt.11 Intiland Tower	T33	2.3151	1.74	2.49	1.51773	1.03537	1.16	1.05	1.07441	1.02267	R
17	M149	Lt.9 STIKOM	T50	1.6754	7.52	6.77	1.15696	1.30888	1.25	1.29	1.11492	1.14277	RS

		Surabaya											
18	M142	Lt.2 STIKOM Surabaya	T50	1.6754	5.24	22.12	1.06124	1.15696	1.18	1.16	1.01014	1.08775	R
19	M172	Lt.2 Apartment Waterplace	T46	1.2985	4.72	1.69	1.94248	1.71702	1.76	1.74	1.91866	1.69597	R
20	M1737	Lt.37 Apartment Waterplace	T46	1.2985	5.12	1.67	1.99101	1.71702	1.79	1.72	1.91866	1.71702	R
21	M202	Lt.2 Gelora Bung Tomo	T15	0.7072	4.6	6.34	1.44465	1.32512	1.5	1.33	1.37509	1.35823	R

Table 2. Estimation of building and ground vulnerability indices and building maximum acceleration.

No.	Code	Ground	Ground Accl	Building F		Building A		H	Average Kb		Max Acceleration	
				EW	NS	EW	NS		EW	NS	EW	NS
1	M11	T53	2.95	1.99	1.17	-	-	3.5	-	-	-	-
2	M15	T53	2.95	1.56	1.72	9.18	8.05	17.5	54.27	39.42	156.25	215.12
3	M110	T53	2.95	1.63	1.57	6.99	10.29	35	18.97	30.05	446.94	282.13
4	M115	T53	2.95	1.59	1.72	2.37	3.64	52.5	4.54	5.91	1867.59	1434.28
5	M122	T53	2.95	1.66	1.65	12.35	16.47	77	14.79	19.95	573.24	424.94
6	M31	T11	3.64	2.59	2.58	-	-	3.5	-	-	-	-
7	M33	T11	3.64	2.75	2.67	2.97	1.85	10.5	9.44	6.29	727.54	1091.93
8	M52	T39	4.28	1.39	1.31	3.25	2.26	7	59.93	47.53	97.47	122.89
9	M521	T39	4.28	1.25	1.19	31.96	30.24	73.5	70.66	73.89	82.67	79.05
10	M62	T62	3.59	2.27	2.76	3.75	1.69	6	30.75	9.38	226.17	741.68
11	M63	T62	3.59	2.34	2.68	5.49	2.86	9	28.25	11.21	246.24	620.28
12	M97	T22	3.56	1.24	1.19	2.58	3.87	21	20.18	32.86	347.70	213.49
13	M92	T22	3.56	1.24	1.15	1.40	1.77	6	38.79	56.47	180.85	124.22
14	M114	T32	3.08	2.95	2.92	2.55	2.269	16	4.62	4.22	1760.29	1928.22
15	M123	T33	2.57	1.05	1.15	5.55	9.32	12	106.89	149.84	91.06	64.96
16	M1211	T33	2.57	1.25	1.04	18.15	20.94	44	66.75	112.20	145.81	86.74
17	M149	T50	3.74	1.17	1.25	18.42	14.51	27	125.31	87.45	53.38	76.49
18	M142	T50	3.74	1.08	1.13	3.99	5.23	6	143.47	171.23	46.62	39.06
19	M172	T46	2.63	1.87	1.72	2.06	1.81	9	16.48	17.22	577.50	552.61
20	M1737	T46	2.63	1.89	1.72	12.72	8.24	166.5	5.36	4.24	1776.69	2242.88
21	M202	T15	5.76	1.44	1.34	0.29	0.23	8	4.55	4.14	954.77	1049.63

The application of HVSR method in the Surabaya area shows the natural frequency of the 15 point of measurement in Surabaya which were used to estimate the possibility soil-structures resonances, vulnerability index of ground and vulnerability index of building. The value of soil frequency ranges between 0.7072 - 2.3511 Hz.

The research results showed that the natural frequency of local site in Surabaya is small (table 1), which means that the soft layer is thick enough in Surabaya. This was confirmed by Sukardi (1992), that Surabaya is generally dominated by lowlands, 80% of the area is alluvial deposits and the rest is low rolling hills formed by soil weathering results of tertiary rocks/old.

Previous research is shown by Figure 4 explaining that the natural frequency of local sites Surabaya is low which is marked by purple – red colour on the figure with an average frequency of 0.5 - 2.7 Hz.

Table 1 shows the value of building frequency using the spectral analysis, RDM and FSR approaches. The analysis of each building resulting horizontal natural frequency value (NS and EW). The natural frequency values obtained at the Graha Pena is varied. Research on the building was conducted on several floors to prove whether the natural frequencies of each floor in a building are the same. Therefore, it requires only a single measurement at one floor.

The strength of the building due to the earthquake can be shown with three parameters; the natural frequency, damping ratio and building vulnerability index or the maximum acceleration that is capable of being held in a building (Nakamura et al., 2000; Sungkono et al., 2011). Natural frequency analysis results shows that the strongest building is PDAM Surabaya and the weakest building is Intiland Tower. Based on the resonance analysis, possibly weakest building is a financial Building in Surabaya, while building the most powerful is PDAM Surabaya. This resonance is likely correlated with the frequency of natural soil beneath the building.

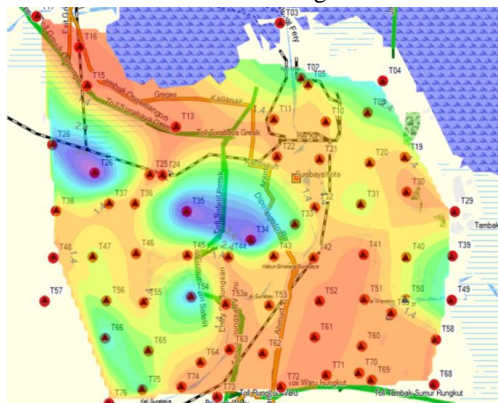



Figure 4. Map of natural frequency in Surabaya (Utama, dkk., 2011)

To support the result of natural frequency data, damping ratio analysis, vulnerability index and maximum acceleration can be held down the building needs to be calculated. The vulnerability index and the maximum acceleration of the building can withstand is estimated from FSR results analysis. Also in the case of natural frequency analysis results, the parameter index of the vulnerability of buildings and the maximum acceleration that the buildings can withstand also pointed out that the strongest building is PDAM Surabaya, while the weakest is Intiland Tower building.

Estimation of damping ratio is different with natural frequency, vulnerability index and the maximum acceleration that is capable of being held by buildings. Damping ratio estimation results show that Intiland Tower has the lowest strength while STIKOM Surabaya has the weakest buildings strength. But the strength difference is not noticeable. This is possible because the method used is based on the single degree of freedom (SDOF) whereas in practice building naturally has multi degree of freedom (MDOF). Next in the classification of strength building determination, this parameter can be ignored.

V. CONCLUSION

The potential damage to buildings as a result of the vibrations of an earthquake can be estimated using natural frequency parameter, the possibility soil-structures resonance, and the maximum acceleration of the vulnerability index which the building can withstand. From the analysis results can be shown that Rusun Penjaringan Sari, Antariksa Hotel, Tujuh Belas Agustus University, Sukolilo Dian Regency, EAST JAVA POLICE DEPARTMENT, Ciputra Apartment, EAST JAVA Senate, PDAM Surabaya, Intiland Tower, Siola Tunjungan City, Bhayangkara University, UNESA Physics Department, Firehouse Department, Bung Karno Stadium has the potential resonance between the structure and soils.

Intiland Tower and STIKOM building has the weakest strength, while the most powerful buildings are Surabaya Firehouse Department, National Finance building and Surabaya PDAM building and the others have medium strength.

VI. REFERENCES

BMKG, 2007: Aktivitas gempa bumi yang signifikan di Jawa Timur periode 1981-2006.

Gosar A., 2007.Microtremor HVSR study for assessing site effects in the Bovec basin (NW Slovenia) related to 1998 Mw5.6 and 2004 Mw5.2 earthquakes, Eng. Geol., 91, 178–193, 2007.

Gosar, A. 2010. Site effects and soil-structure resonance study in the Kobarid basin (NW Slovenia) using microtremors. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 761–772, 2010

Gosar A., Rošer J., Šket Motnikar B., Zupančič P., 2010. Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia), B. Earthq. Eng., 8, 571–592.

Nakamura, Y.(1997).Seismic Vulnerability Indices For Ground and Structures Using Microtremor, World Congress on Railway Research in Florence, Italy, November.

Nakamura, Y. (1989), "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", *Quarterly Report of Railway Technical Research Inst*. (RTRI) 30, hal. 25–33.

Nakamura, Y. (1996), "Realtime Information Systems for Seismic Hazard Mitigation", *Quarterly report of Railway Technical Research Inst. (RTRI)* 37, hal.112–127.

Nakamura, Y. (2000), "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications", *Proc. XII World Conf. Earthquake Engineering*, New Zealand,2656.

Parolai, S., Sandra, M., Richwalski, Milkereit, C., Bormann P., 2004. Assessment of the stability of H/V spectral ratios from ambient noise and comparison with earthquake data in the Cologne area (Germany). Tectonophysics 390,57– 73.

Sukardi. (1992). Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (PPPG). Bandung

Sungkono, Santosa, B.J., 2011. Karakterisasi Kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan. Jurnal Neutrino Vol.4, No.1. , 1-14.

Sungkono, Warnana D.D., Triwulan, Utama W., 2011. Evaluation of Buildings Strength from Microtremor Analyses. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol: 11 No: 05

Triwulan, Utama, W.(2010). Microzonasi Indek Kerentanan Bangunan Terhadap Getaran Gempa bumi (Studi Kasus: Kec. Pare, Kab. Kediri, Jawa Timur). Hibah Produktif Nasional, Tahun Pertama.

Towhata, I. (2008). Geotechnical Earthquake Engineering. Springer: Japan

Tuladar, R. (2002). Seismic microzonation of greater bangkok of greater Bangkok using microtremor observations. Thesis Asian Institute of Technology School of Civil Engineering. Thailand.

Warnana D.D., Triwulan, Sungkono, Utama W., 2011. Assessment to the Soil-Structure Resonance Using Microtremor Analysis on Pare -East Java, Indonesia. Asian Transactions on Engineering (ATE ISSN: 2221-4267) Volume 01 Issue 04

Utama W., Sungkono, Bahri A.S., Warnana D.D., 2011. Fuzzy Clustering To Automatic Zonation of Urban Area On The Incomplete Data of HVSR Parameters. International Conference on Mathematics and Sciences (ICOMSc), Surabaya, pp. OP091–OP097

www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Geofisika/Skala_MMI.bm

03 Web-Based Tsunami Early Warning System

Daniel Siahaan[1], Royke Wenas[2], Amien Widodo[1], Umi Yuhana[1]
4. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
5. Universitas Negeri Manado
Email: daniel@if.its.ac.id

Abstract—*Tsunami is a serious threat to the island nation such as Indonesia. The tsunami disasters that were occurred in some parts of Indonesia have immerged the need for tsunami early warning system that is reliable and can be applied to the Indonesian archipelago. North Sulawesi is one of the areas prone to tsunamis since this area lies in the path called the ring of fire's. This article describes a tsunami simulation application for the north coast of North Sulawesi. Web-based applications were built so that they can be monitored online from anywhere and at anytime. This system reads the real-time seismic data that affect the North Sulawesi region from a number of sources. Dynamic and static data that are received are processed using data mining method to predict the chances of a tsunami, while flood flooding algorithm is used to visualize the map of affected areas of North Sulawesi. The resulting information is available in detail in the form of web pages and also through short message to the relevant authorities handling of the tsunami disaster in order for them to act in accordance with applicable standard operating procedures. With this application, the public can obtain information that is more accurate. Relevant authorities can conduct tsunami disaster mitigation measures more effectively.*

Keywords*— Flood Fill Algorithm, Simulation, North Sulawesi, Tsunami*

Abstrak—*Tsunami merupakan salah satu ancaman yang serius bagi banyak wilayah kepulauan, khususnya Indonesia. Bencana tsunami yang pernah terjadi di beberapa wilayah di Indonesia telah memunculkan kebutuhan akan suatu system peringatan dini yang handal dan dapat diaplikasikan di wilayah kepulauan seperti Indonesia. Provinsi Sulawesi Utara adalah salah satu wilayah di Indonesia yang rentan mengalami bencana tsunami. Hal ini karena wilayah ini, khususnya pantai utara Sulawesi Utara, terletak di dalam lintasan cincin api dunia. Artikel ini membahas tentang aplikasi simulasi tsunami untuk pantai utara Sulawesi utara. Aplikasi berbasis web yang dibangun mengkonsumsi data dari beberapa sumber agar dapat memonitor secara daring dari mana saja dan kapan saja. Sistem membaca data seismik yang berkaitan atau berdampak pada area yang dituju secara daring. Data dinamis dan statis ditangkap dan diproses menggunakan pendekatan penggalian data untuk memprediksi kejadian, dan algoritma flooding digunakan untuk memvisualisasikan area terdampak dari waktu ke waktu. Informasi terkait hasil simulasi dan visualisasi dapat dilihat.secara rinci melalui halaman web dan juga melalui pesan singkat yang dikirim ke pihak terkait dengan penanganan bencana tsunami. Pihak-pihak ini yang akan memutuskan dan mengambil langkah-langkah mitigasi bencana sesuai dengan prosedur baku tertentu. Dengan aplikasi ini, masyarakat dapat memperoleh informasi dengan lebih akurat. Pihak-pihak terkait juga dapat melakukan tindakan mitigasi yang terkukur dan efektif.*

Kata Kunci*—Algoritma Flood Fill, Simulasi, Sulawesi Utara, Tsunami*

I. INTRODUCTION

Tsunami comes from the Japanese language. The syllables "tsu" means harbor, while "nami" means wave. It is generally defined as a large tidal harbor. Given this senses, the tsunami can be interpreted as long-period ocean waves generated by an impulsive disturbance of the sea floor [1]. Tectonic earthquakes, volcanic eruptions, or landslides under the sea are the types of sources of the impulsive disturbance. Velocity distribution of the tsunami wave is directly proportional to the depth of the sea. The deeper the sea, the higher the speed of the tsunami. This means, this speed will decrease when the tsunami waves approach the shore (approximately 25-100 km/h). However, with a relatively slower pace of wave, the devastating tsunami still can still cause devastated destruction to everything in its path, particularly around the coast.

Since the Tsunami can be fatal in areas around the coast, then there is a need for an assessment of tsunami risk. Learning from the tsunami disaster in Aceh in 2004, the terrors of the earthquake and tsunami in the province of Nanggroe Aceh Darussalam and North Sumatra raises serious concerns of all people in the world, because it has caused death toll expected to reach more than 200,000 people and damage to infrastructure reaches more than 90 %. Seismic events are events that cannot be predicted when it will happen (unpredictable) and even includes events that there is no chance to escape from the enormity of the earthquake (unpreventable). The tsunami, which caused by the earthquake, has the same properties as the earthquake, since it is unpredictable and there is no chance of escape.

Around the world, tectonic earthquake was recorded as the primary cause of the tsunami. From the last 400 years, there have been 107 times the incident in Indonesia. Of that amount, more than 91% due to earthquakes, 8% due to volcanic eruptions, and 1% due to landslides on the seafloor [2]. Examples of the impact of the 2007 tsunami in Pangandaran is one example of the impact of a tsunami can be observed and can be used as the basis for tsunami hazard mapping (Figure 1).

There are a number of researches and developments have been done in the field of supervision and control of environmental degradation and natural disasters system [2,3]. All of them focus on human effort to be able to predict the possibility of disaster and further reduce the adverse effects caused by such disasters on life and environment. Such systems are often referred to as the Early Warning System or Early Warning Systems (EWSs). Most of such systems and technology approaches involve the use of sensors for data collection, data transmission, evaluation and analysis, dissemination of early warning information in a timely manner, and efficient response to such information [4].

Figure 1. The 2007 Tsunami Disasster in Pangandaran

Implementation of an emergency response to a tsunami early warning information before the actual impact of the disaster occurred is a difficult task and requires a concerted effort by all parties. All parties here especially at the level of government, such as the National Agency for Disaster Measures (BNPB), the Regional Disaster Management Agency (BPBD), the Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation (PVMBG), the National SAR Agency (Basarnas), as well as relevant agencies. All of them plays a role not only when a disaster occurs, but also when pre-disaster planning and disaster response training.

Researches and developments of early warning systems have been widely introduced. Vordzorgbe (2003) noted that in the Americas, focusing on the development of EWS many landslides, earthquakes, climate change and El Nino [5]. In Europe, a more accurate EWS is built to predict hazards and food scarcity, climate change, water quality, and pollution. EWS is integrated with Internet technology and remote sensing. Meanwhile in Asia more towards EWS development related to the tsunami disaster.

In Indonesia, the development of EWS, specifically for the tsunami disaster, has also been carried out. One of the EWS developed after the tsunami in Aceh

Telah dipublikasikan di IPTEK, The Journal for Technology and Science, Vol. 24, No. 3, December 2013

in 2004 was the German-Indonesian Tsunami Early Warning System (GITEWS). This system is an initiative of the German government is done by GeoForschungsZentrum Potsdam [5,6]. GITEWS architecture was built from a number of components with the main component gauging station is located on the Warning Center. Gauging station continuously collects relevant data, such as seismic information, position, water level, absolute pressure and pressure difference, as well as other technical variables. OBU is deployed at some point on the seabed will perform preprocess all the data related to the pressure at the sea floor and transfer them to the GPS Buoys on the surface using acoustic data transmission. This data along with the data (high water) collected by GPS Buoy sent via satellite to the gauging station. Seismometers located at monitoring stations also transmit data to the gauging station in Warning Center located in Jakarta via satellite. All of data and information are processed using simulation methods and models that have been built to detect the possibility of a tsunami. This system is only tested on a small scale in the Sunda Strait. This is because the cost of infrastructure is very expensive.Other that, until now, the system is still the intellectual property of the GFZ.

Aside from these systems, there are also other similar systems, such as the Early Warning Center Pacific (http://ptwc.weather.gov) and EWS owned by the Japan Meteorological Agency (http://www.jma.go.jp/ en / quake). However, although the system can provide early warning of the tsunami disaster in almost all parts of the world, such systems do not provide relatively fast access to stakeholders and the community in Indonesia. For example, in the event of an earthquake on the southern coast of the island of Java in July 2006, the early warning has been sent to the Indonesian government, but not enough time to disseminated to local governments and communities.

This article describes an information system that supports the process of tsunami early warning called North Sulawesi Tsunami Early Warning System (NSTWS). The system is built to take advantage of existing seismic data provider on the internet by collecting real-time seismic data. The real-time and historical data of seismic activity were used to create a prediction model of tsunami even in North Sulawesi north coast. The model was developed using several data mining classification method according to the characteristics of the data obtained. The geological data was used to model the dynamic spread of flood on the affected area. A software was developed to visualized the model.

II. Material and Methods

a. *Materials*

Judging from descriptions of specific data from different data providers, a minimum data requirements and standards for NSTWS need to be specified. It is necessary to create a system that is not dependent on only one data provider and can be replaced with other data provider. To be able to predict tsunamis, NSTWS using three types of data, namely:

- Bathymetry data, this data represents the land and seabed topology, the time comes, direction, and speed of tsunami waves. The bathymetric data collected in this study is only for the North Sulawesi region. This data will also be displayed as a digital map.
- Seismic data, this data represents the time, location, depth, and magnitude of seismic activity. Furthermore, the data is used to simulate the epicenter and high sea waves in accordance with the basic topology sea and land as well as the strength of the earthquake.
- Sea wave conditions, this data along with information point location and magnitude is used to predict the height of sea waves accurately. Rather than make predictions of sea level to detect a tsunami, it would be more accurate to use the data from the sensor buoys that have been available. So the sea wave height data that could be obtained. The data needed is the sea wave height, wind speed, wind direction, and wind gusts.

To define the data requirements for seismic sea waves, the description of the data from each data provider needs to be explored further. Description of this data will be used to examine the data availability characteristics, such as the type of data provided, the data generation mechanism, and data formats. Each data provider has different data format. Therefore, NSTWS has to make a global data definition for multiple data providers. A format specifically designed for NSTWS need to be built to ensure that NSTWS is independent to any data providers. This strategy avoids the problem with respect to the case when data provider stop the service in the future. When it happens, NSTWS can easily retrieve data from other data providers. Program 1 shows some descriptions of data from the USGS, PTWC, and NDBC.

To get the data from the USGS (http://www.usgs.gov) can be used web service APIs that have been

provided. Web service is an implementation of FSDN (of Digital Seismograph Networks Federal) Event Web Service, and provides search services specific to earthquake information using a variety of parameters. Applications that utilize this web service should use the Real-time GeoJSON feeds to display the earthquake information whenever possible, because it will produce the best performance. A GeoJSON object represents geometry, feature, or a

```
{  type:
"FeatureCollection",
   metadata:
     { generated: Long Integer,
       url: String,
       title: String,
       api: String,
      count: Integer,
       status: Integer
     },
   bbox:
     [ minimum longitude, minimum latitude, minimum
       depth, maximum longitude, maximum latitude,
       maximum depth
     ],
   features:
     [
       {
       type: "Feature",
       properties:
         {
           mag: Desimal,
           place: String,
           time: Long Integer,
           updated: Long Integer,
           tz: Integer,
           url: String,
           detail: String,
           felt:Integer,
           cdi: Desimal,
           mmi: Desimal,
           alert: String,
           status: String,
           tsunami: Integer,
           sig:Integer,
           net: String,
           code: String,
           ids: String,
           sources: String,
           types: String,
           nst: Integer,
           dmin: Desimal,
           rms: Desimal,
           gap: Desimal,
           magType: String,
           type: String
         },
       geometry:
         {
           type: "Point",
           coordinates: [ longitude, latitude,
                          depth ]
         },
         id: String
       }, ...
   ]
}
```

Program 1. JSON Format for Geographical Data.

collection of features. GeoJSON is transferred using a JSON response (lightweight data exchange format / simple), but the response GeoJSON packed in the function call, eqfeed_callback. The use GeoJSON protocol is intended as interface for the application.

Potential Data Source from the PTWC Tsunami

PTWC (Pacific Tsunami Warning Center) is an agency under NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) United States who provide service delivery potential tsunami event notification messages. Users can obtain the message in real time by subscribing through the medium of email, SMS (text message), RSS, or social networking. In general, the PTWC serves Pacific basin area. As for the other areas, there are other data providers. NOAA provides services in WCATWC (West Coast and Alaska Tsunami Warning Center). Pacific Tsunami Warning System, PTWC provides warnings for Pacific basin tele-tsunami (tsunamis that can be destructive regions far outside the center of the event) to all countries in the Pacific rim and all the islands in the Pacific. This service was held under the supervision of the UNESCO/IOC (International Coordination Group). One of the access options that can be used to get a tsunami early warning is to subscribe to the RSS (Really Simple Syndication). This service is the easiest service to get an alert when the an event occurred. Nothing like a visit to the site to find the latest news, RSS automatically notifies when there is new news is posted, which can be read through the user's choice of news reader application. PTWC RSS feeds provide three services: a) PTWC Pacific Ocean RSS Feed, b) PTWC Hawaii RSS Feeds, and c) the PTWC Caribbean Sea RSS Feed.

National Data Buoy Center (NDBC) is part of the National Oceanic and Administration's (NOAA) National Weather Service (NWS) whose job is to design, mengoprasikan and manage network data collection buoys and providing meteorological observations ocean, oceanography, and geophysics accurate and in real time to help warning centers, marine forecasts, military, marine platform operators, and the general public.

In addition to using the data from the USGS seismicity, tsunami early warning systems also utilize data from multiple sensor buoys in the waters of North Sulawesi to improve the prediction of a possible tsunami. Buoy data is data obtained from sensors mounted buoys at sea. Buoys generally have multiple functions, including to measure the depth of sea water, air temperature, wind speed, and others. These data are typically used to predict storms, tidal waves or tsunami the sea water.

To use the data buoys, may be used data that has been provided by NDBC (National Data Buoy Center) under NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) the United States government. The nature of the data is the same as the data from the USGS, which can be used freely by the general public. Each buoy mounted sensors have their IDs as a marker. Users who want to utilize the data buoy buoy ID simply states that the data will be retrieved. Around the world, the distribution is uneven buoy sensors. Buoy sensors are found in coastal regions of America and the Pacific. Whereas in other areas, particularly Indonesia, buoy sensor is not commonly found. Sensor buoys in the located in the sea of north Sulawesi can be used to predict the potential tsunami that may occur in the waters of the Philippines and North Sulawesi.

Data shown on NDBC server using a simple text file format that can be downloaded using the HTTP protocol, wget, or Perl / LWP. It is recommended to use the HTTP protocol in the process of downloading data. Realtime folder (data/ realtime2) contains data within the last 45 days. In general, real-time data is data that has been through an automatic quality control being released in the global telecommunications system. Station_id.datatype

```
public function get_earthquake_data()
{
   Set starttime and endtime of data;
   Initialize json object;
   Initialize array for data holder;

   for each features in json object do {
        copy to data holder
   }
   return $data;
}
```

Program 2. Pseudocode for Extracting Real-Time Seismic Datafrom USGS Web Service

named file.

In addition to using the HTTP protocol, the data from NDBC can be obtained from the RSS, e-mail, and telephone. NDBC data format used among others:

• txt, for standard meteorological data
• drift, for meteorological data from drifting buoys
• cwind, for continuous wind data
• spec, for a summary of spectral wave data
• data_spec, to raw spectral wave data
• swdir, for data spectral wave (alpha1)
• swdir2, for data spectral wave (alpha2)
• swr1, for data spectral wave (r1)
• swr2, for spectral wave data (r2)
• ADCP for acoustic doppler current profiler
• ocean, to the data oceanographic
• tide, for a tidal wave of data

NSTWS utilizing data provided by the USGS Earthquake to show information about the earthquake that occurred in the region of North Sulawesi within the last 24 hours. Program 2 is a pseudocode to retrieve location information of the earthquake, the depth of the epicenter, the quake strength, latitude and longitude, time and potential tsunami.

The bathymetry data represents the basic topology sea and land. NSTWS need bathymetric data for the North Sulawesi region. Bathymetry data is used to perform simulations of the tsunami affected areas. The system models the tsunami wave velocity of water and then combined it with bathymetric data to predict the impact of the tsunami and height of tsunami in various areas in North Sulawesi.

The bathymetry data can be retrieved by observing the North Sulawesi region using sonar and utilize the help of satellites (GPS) to determine the position. Some institutions have a worldwide bathymetric data that can be utilized by the NSTWS. Bathymetry data sources used in this study comes from the General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). the data consists of latitude and longitude coordinate data along with height / depth of a location on the earth's surface. GEBCO bathymetry dataset provides two types of the GEBCO One Minute Grid and GEBCO 30 Second Grid. GEBCO One Minute Grid is a global bathymetric data are represented in arc-minute grid. The second type of bathymetric data is GEBCO_08 Grid, the global bathymetric data were represented in the 30 arc-second. This data is processed from the data with the interpolation ships depth gauge gravity data obtained from satellites. GEBCO_08 Grid is still actively developed until now.

In this study, NSTWS system using bathymetric data in the form of GEBCO One Minute Grid. General data is provided by GEBCO global data (the whole world). This data is then processed to obtain the data from North Sulawesi are located at 5.7°N - 0.3°S and 120°-130°E (latitude 5.7° north up to -0.3° south and longitude 120° -130° east). This data is then stored into the database system to be used further.

B. Experimental Method

Data Mapping Bathymetry from GEBCO to Google Maps

To obtain elevation data points entered by the user, the system will select the closest point that has been stored in the database. Then the system will use the

elevation data at the closest point. In general, the algorithm for determining the height of a point elaborated in the following steps.

1. Calculate the difference in latitude is requested with latitude all points.
2. Calculate the difference in longitude longitude requested with all the points.
3. Sort the data difference between latitude and longitude ranging from the smallest difference.
4. Take the first point resulting from the third step. Thus obtained the closest point on the system with the desired point.
5. Find the height of a point that has been obtained in the fourth step.

Visualization of Tsunami Affected Areas

To show the area affected by the tsunami, the system takes a digital map for the region of North Sulawesi. This digital map should be coated (overlay) into several layers in order to display the information of the area affected by the tsunami. Each layer displays different information. This layer is used to visualize the wave height sea water and the estimated time of arrival.

NSTWS utilizes digital maps provided by GoogleMaps. GoogleMaps provides functions are summarized in the Google Static Maps API that allows for the coating of digital maps with any information. GoogleMaps provides several modes appear on a digital map, namely: mode terrain map mode.

Flood Fill Algorithm

NSTWS uses Flood Fill algorithm for modeling dispersion of flood due to potentially cause a tsunami. This algorithm determines the areas that are

```
Public function run ()
{
   Initialize latitude epicenter;
   Initialize epicenter longitude;
   Initialize wave height;
Initialize overlaid grid size to 1 minute, and bathymetric
to 6 minutes;
   Initialize data holder to NULL;
   Initialize pointCount to 0;


   From epicenter, start flood fill algorithm (point (x,y),
fill, old)  {
if ((x < 0) || (x >= width)) return;

    if ((y < 0) || (y >= height)) return;
    if (getPixel(x, y) == old) {
    setPixel(fill, x, y);
    floodFill(x+1, y, fill, old);
    floodFill(x, y+1, fill, old);
floodFill(x-1, y, fill, old);
floodFill(x, y-1, fill, old);
}
}
Visualize data ;
}
```

Program 3. The Pseudocode of Flood Fill Algorithm for NSTWS Applications.

connected to the point (node) in a particular multi-dimensional arrays [7]. In the case of simulation, the epicenter of the earthquake is entered by user. In the case of life event, the epicenter of the earthquake is input from the data provider. From the epicenter, the algorithm detects the affected areas around the point from different directions and within a certain distance or radius corresponding to the height of sea waves.

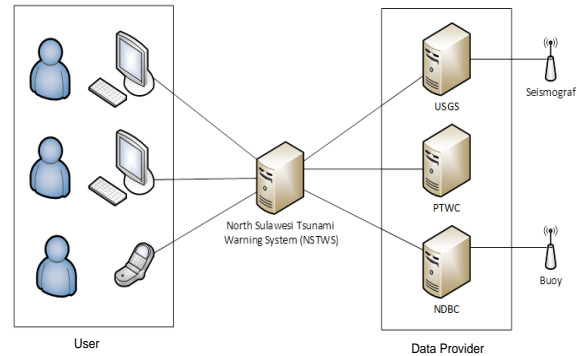



Figure 2. NSTWS Interconnection Architecture.

In NSTWS system, flood fill algorithm is processed by calculating the elevation or contour of the land. The land contours affects the water wave height up to the shoreline. Program 3 displays pseudocode flood fill algorithm that is used for modeling the flood dispersion. The input of this function is the epicenter coordinates (latitude and longitude)
and high sea waves. This function provides outputs in the form of location, time and high waves in the tsunami affected areas.

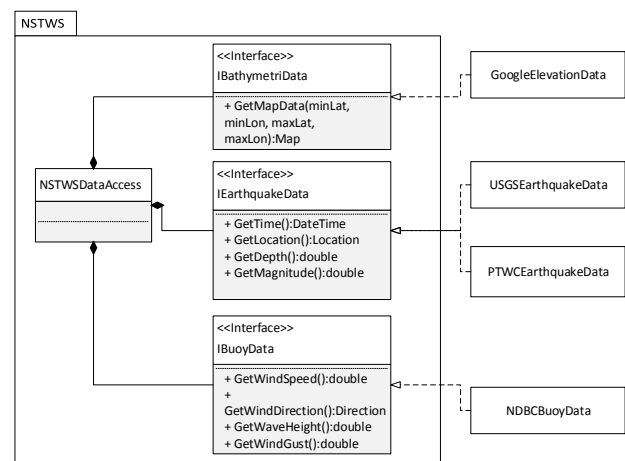



Figure 3. NSTWS Class Diagram.

NSTWS Interconnection Arthicture with Data Provider

In accordance with the global architecture in Figure 2, NSTWS requires interconnection of data with the data provider. It extracts the description of data with minimal variation in the availability and format of

the data available from various data providers, and then takes a special mechanism that can facilitate the addition and replacement of data sources.

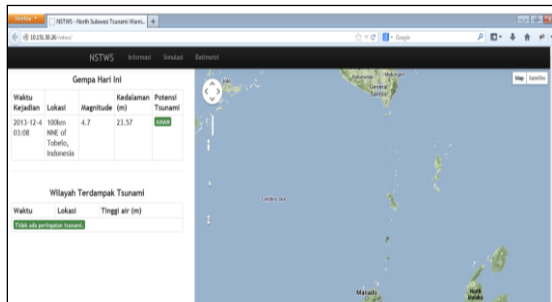



Figure 4. NSTWS Information Page.

The interconnection architecture is modularly designed, so that anyone can create a data provider module that can be accessed uniformly by NSTWS. When a connection of a module is not available, then NSTWS can automatically turn to other available module. To be able to do, an interface class is created for each module based on the description of the minimum data requirements. Figure 3 describes the class diagram that contains a class interface standard used to establish a connection with any data provider that is wrapped into a module. For example, seismic data module defined on IEarthquakeData. There are two modules that implement these interfaces is USGSEarthquakeData and PTWCEarthquakeData. NSTWS data providers can use both interchangeably if one does not work.

III. Results and Discussion

NSTWS applications can be accessed through the main web page that has three pages, i.e. information, simulation, and bathymetry pages. To test the system, this study uses two scenarios. First scenario aims to validate the model implementation against the referred algorithms. The second scenario aims to verify the functionalities of the features implemented in the system. For testing the model, a data associated with the North Sulawesi region was used. As for testing the functionality of the system, a set of use cases is used. These use cases were captured during the developed process which is conducted in the early phase.

Information Page

This page shows information with regard to the event of earthquake that occurred within the day. It displays the earthquake occurrence time, location and depth of the epicenter, the earthquake scale, and the status of a potential tsunami. If it has high probability of producing a tsunami, then the system displays the information about tsunami affected areas. It includes the approximate time of the tsunami reach the shores, the location affected, and sea levels. In addition, the area affected by the tsunami will be visualized on a digital map as shown in Figure 4.

Bathymetry on the web page NSTWS provide services to determine the level of land relative to sea level by entering latitude and longitude coordinates of a location. Bathymetry page views can be seen in Figure 5.

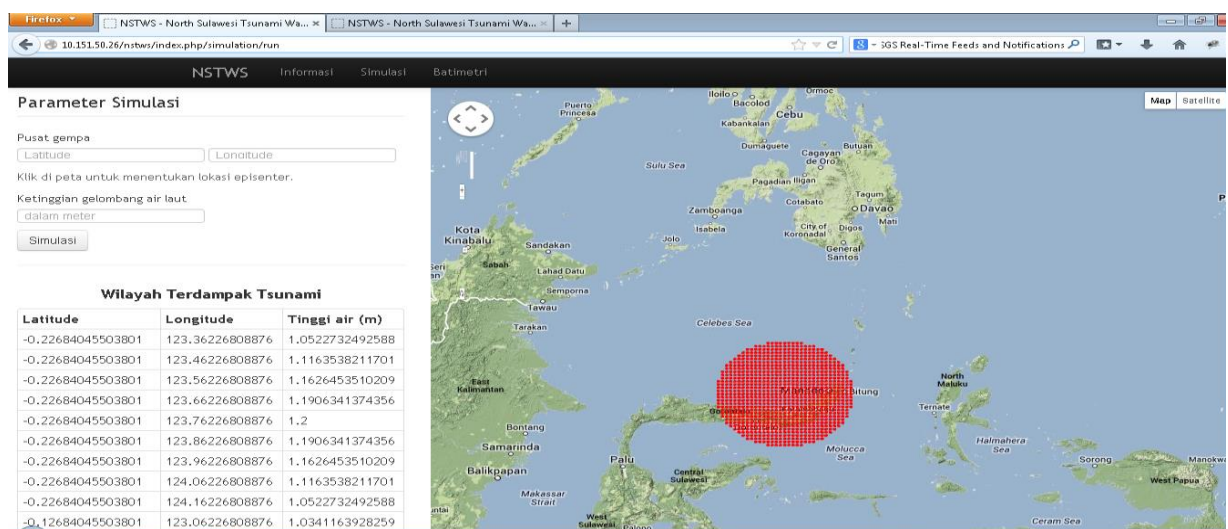



Figure 5. NSTWS Simuation Page.

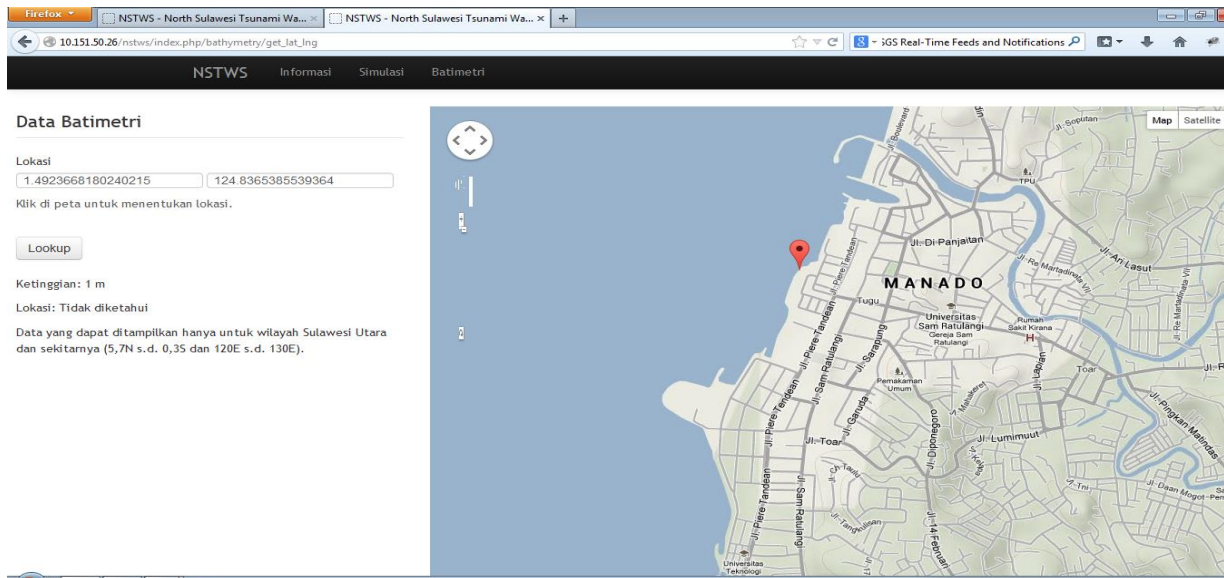



Figure 6. NSTWS Bathymetric Page.

Simulation Page

The simulation page of NSTWS provides a means of simulating the tsunami affected areas on a digital map. To display the region affected by the tsunami simulation, users need to enter data applications NSTWS epicenter location (latitude and longitude) and height of sea waves. In addition to displaying a visualization of the tsunami on the digital map, the system will display a list of locations NSTWS affected by the tsunami as shown in Figure 4.

Bathymetry Page

Bathymetry on the web page NSTWS provide services to determine the level of land relative to sea level by entering latitude and longitude coordinates of a location. Bathymetry page views can be seen in Figure 5.

IV. CONCLUSIONS

Based on the results NTSW development, it can be concluded that the development of systems based NSTWS seismic data can be implemented with multiple needs. Minimum requirement that must be met by the data provider is obtaining (1) bathymetric data and seafloor topography, which is used for modeling the tsunami waves, (2) seismic data in the form of time, location, depth, and magnitude of

the earthquake, and (3) sea wave conditions such as wind speed, wind direction, wave height of sea water, and wind.

The system provide a graphical means of modelling and visualizing the tsunami and its effect using digital map. The digital map overlaid with a grid size of 6 minutes. While the bathymetric data used is 1 minute. It is intended that the processing time becomes shorter. On the other hand, it causes loss of precision in predicting the tsunami affected areas.

To facilitate the change and change the data provider, NSTWS provide several classes of standard interfaces that can be implemented into several independent modules for each data provider. Thus, when the module is not functioning, then the system can use the module NSTWS other data providers.

Due to the lack of sensor buoys in North Sulawesi, then use a data buoy synthetic NSTWS to perform simulations.

The use of flood fill algorithm can not handle the amount of data that a lot of the 216,000 bathymetric data for North Sulawesi and the surrounding region. So, we need another algorithm that is more efficient, but it can also use parallel programming. In addition, the size of the grid on the maps that are supposed to be equal to the size of the overlay grid of bathymetric data so that predictions of the location of the tsunami affected more detail.

ACKNOWLEDGMENT

This paper was a part of East Part of Indonesia University Networking (EPI-NET) Competitive Research Grant which funded on 2013-2014 by the Directorate General of Higher Education, Ministry of National Education. The author also expresses his gratitude to all of research members and all of research assistants.

REFERENCES

[1] M. Webster, "Tsunami defintion," Merriam-Websters. Merriam-Webster. Access on 23 March 2013.

[2] S. Diposaptono, Tsunami Mitigation Technology. In 2005.

[3] S. Kumar, Shailesh N., P. Kumar, RBS Yadav, BA Kumar, MV Sunanda, EU Devi, NK Kumar, SA Kishore, and SSC Shenoi, "Successful monitoring of the 11 April 2012 tsunami off the coast of Sumatra by the Indian Tsunami Early Warning Centre, "Current Science, vol. 102, no. 11, pp. 1519-1526, June In 2012.

[4] SD VORDZORGBE, "Synthesis of the findings of the regional early warning Consultations in Africa, Asia, the american hemisphere and Europe," in Report For The Second International Early Warning Conference (EWC ii), Bonn, Germany, 2003.

[5] J. Wächter, A. Babeyko, J. Fleischer, R. Haner, M. Hammitzsch, Kloth A., and M. Lendholt, "Development of a tsunami early warning systems and future challenges," Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Vol. 12, no. 6, pp. 1923-1935, June In 2012.

[6] W. Hanka, J. Saul, and T. Hoffmann, “GEOFON, GITEWS and the Indian Ocean Tsunami Warning System,” in EOS, Transactions, American Geophysical Union, San Fransisco, 2008, vol. 89.

[7] T. J. Lujan, S. M. Madey, D. C. Fitzpatrick, G. D. Byrd, J. M. Sanderson, and M. Bottlang, “A computational technique to measure fracture callus in radiographs,” Journal of Biomechanics, vol.43, no. 4, pp.792–795, Mar. In 2010.

Land Suitability for High Rise Building Based on Land Developers' Preference and Soil Vulnerability Index

M Belinda Ulfa Aulia, Dian Rahmawati, Putu Gde Ariastita
Urban and Regional Planning, Sepuluh Nopember Institute of Technology

Abstract - *The development of high rise building in Surabaya growth rapidly. Unfortunately the development of high-rise buildings mainly focused on market preferences and surface soil rather than the underground condition. By referring to this condition, several areas in Surabaya has a high intensity ground vibrations due to an earthquake. The results of this study is then reprocessed and continued to be overlaid withthe finding of developers preference using a combined method of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS). From the standpoint of physical analysis, which focuses on the risks of earthquake and the need to meet market demands such as land availability, infrastructure, and market size so it is necessary to produce suitability map for high-rise buildings which are safe and profitable according to comprehensive study. The results of this study are expected to be beneficial for government to create a policy high rise building zone based on the spatial aspect, the physical aspect as well as the preference of developers to municipalities*.

Keywords: *Location, building high, Developer Preferences, and Soil Vulnerability Index*.

I. Introduction

The development of high buildings in the city of Surabaya increasingly rapid start of construction of the building in the center of Surabaya as the Golden Quadrilateral Region Tunjungan, and to date has progressed towards the West Surabaya, Surabaya Surabaya to the South East. Some examples of high-rise buildings in Surabaya include Adhiwangsa Golf Residence is located in West Surabaya and has a height of 42 floors, Water Place Residence is also located in West Surabaya and has a height of 38 floors, Sheraton Hotel & Tower which is located in Surabaya Center height is 28 stories high and into one block with Tunjungan Plaza, Plaza BRI is located in the heart of Surabaya and has 23 floors, and many other high-rise buildings. So far, the construction of high-rise buildings only focused more on market preferences and aspects of the soil surface and not pay attention to aspects of the existing underground. As we know, some areas in the city of Surabaya has a high intensity ground vibrations due to an earthquake. This is certainly going to make the area into a high hazard potential earthquake. At some point observations occurred in Surabaya land subsidence with a top speed of -2.792 cm / year and the lowest rate -0.322 cm / year and an average speed of -1.21 cm / years. This is certainly will cause the number of buildings that collapsed due to not being able to accommodate the load and building density.

Viewed from the the standpoint of physical analysis, which focuses on disaster risk due to the earthquake and land subsidence it is necessary to a regional mapping of disaster risk into the determination of the direction zone area high rise building. Of course, to still be able to meet the market demand, the results of the mapping will also be integrated with land suitability zones based on the preferences of developers with spatial viewpoint as availability of land, infrastructure, and market size. The results of this study are expected to be used to determine the direction of the zone of high rise building based on the spatial aspect, the physical aspect as well as the preferences of the developer.

Peer-review under responsibility of the Cities International Seminar Committee.

II. Literature Review

According to the Indonesian Government Regulation No. 36 Year 2005 on the Implementation Regulations of Law No. 28 of 2002 on Building, is a high building is a building with a total floor building over 8 floors. Classification level of the building heights are as follows: low building (number of floors of buildings up to 4 storeys), the building was (number of floors 5 floors of buildings up to 8 floors), and building height (number of floors of the building over 8 floors). The high buildings are located in the city of Surabaya, such as hotels, offices, apartments, shopping centers and mixed function-shaped building with the superblock.

There are several criteria established under study literature review to determine the appropriate location for high buildings. Criteria, sub-criteria and operational definitions that affect the development of region-rise buildings is shown in Table 1.

Table 1. Criteria, sub-criteria and the definition of the Operational Directives Affecting Land Suitability For High Rise Building Based Physical Analysis In Surabaya

CRITERIA	SUB CRITERIA	OPERATIONAL DEFINITION
(1)	(2)	**(3)**
Market Size	▪ Resident type of work	**Type of society work in a location that will be the primary target market marketing High Rise Building**
	▪ Competitive environment	**Competitive conditions of business / existing development in the surrounding area**
	▪ Public demand	**Public response to the construction of High Rise Building which will be the primary target market marketing High Rise Building**
Accessibility	▪ Distance to city centre	**Minimum distance of the location of High Rise Building with the center of Surabaya in Surabaya Center**
	▪ Distance to public transportation	**Minimum distance of the location of High Rise Building with a public transport hub which stops / terminals / stations**
	▪ Road network	**Collector or arterial road with wider dimensions that exist in the area around the High Rise Building.**
Land end environment characteristics	▪ Land price	**Price of land where construction of High Rise Building**
	▪ Land use	**Conformity with the land use designation established in Surabaya Spatial 201 / RDTRK Surabaya 2013**
	▪ Topography	**The dimensions of the ground in High Rise Building**
	▪ Land area	**Land area where the construction of High Rise Building**
	▪ Building height	**Maximum building height specified in Surabaya Spatial Plan 2013 / RDTRK Surabaya 2013**
	▪ Disaster vulnerability	**The level of influence in the region floods High Rise Building**
	▪ Land use area	**Land use in the vicinity of the site is to be built**

CRITERIA	SUB CRITERIA	OPERATIONAL DEFINITION
	▪ Electricity provision	**The availability of electricity in regional High Rise Building to support the needs of the inhabitants of the High Rise Building**
	▪ Water provision	**The availability of water in the tissues High Rise Building to support the needs of the inhabitants of the High Rise Building**
	▪ Telecommunication network	**Telecommunications network availability in the area of High Rise Building to support the needs of the inhabitants of the High Rise Building**
	▪ **Drainage network**	**Availability of drainage network in the area of High Rise Building to support the needs of the inhabitants of the High Rise Building**

Source : Analysis, 2013

III. Result

Formulation Developer Preferences for Location High Rise Building

The elements of the problem used in this study have been prepared on a hierarchy consisting of objectives, criteria, and alternatives. More detail can be seen in the Chart 1.

The method used in determining the criteria to be a preference developers in determining the location of the construction of High Rise Building in Surabaya is Analytical Hierarchy Process (AHP) with the help of Expert Choice software v.11. The first step in this analysis is conducted interviews to experts associated importance weight factors and variables that have been determined. Interviews were conducted through questionnaires. The experts involved in the formulation of weighting factors and variables there are 3 major developer Ciputra World Surabaya ie, Pakuwon Group and Lippo Karawaci. After the interviews were conducted through a questionnaire, the next stage is to enter the data that has been obtained from the questionnaire into the Expert Choice software v.11 for analysis.

Weighting of the results of all sub-criteria that influence the selection of the location of the development of High Rise Building in Surabaya, the results obtained that the sub-criteria of the most influential public demand. Followed by sub-criteria competitive environment, road networks, water networks, electricity networks, distance from the city center, drainage network, the level of hazard, land area, land prices, the type of work residents, the building height limit, suitability of land use, distance to public transport , surrounding land use, telecommunication networks, and slope steepness. For more details, can be seen in Figure 3.6. While the consistency ratio (CR) in the compilation of the variables that influence weight overall was 0.02.The CR value $\leq$ 0.1 this means that the comparison matrix between sub criteria are acceptable and unnecessary a review of levels of hierarchy or repetition at the questionnaire stage.

Land Vulnerability Index

Lately, Kg estimation is one of the important tools for forecasting purposes prone areas of damage when there is an earthquake wave propagation. Nakamura (1997) proposed a theory of vulnerability index that is directly related to the shear strain, one of the parameters can ynag explains the occurrence of liquefaction, ie the shear strain < 〖10〗 ^ (-2). This is supported by the results of earthquake data Loma Paerieta in Mexico City and Hokkaido earthquake (Nakamura, 1997). In addition, the parameter Kg is also correlated with infrastructure damage caused by liquefaction Chi-Chi earthquake (1999) are indicated by (Huang and Tseng, 2002). Furthermore, by correlating the geological data, NSPT, the data indicate that the drill and Kg Kg is a parameter indicative of liquefaction (Hardesty et al., 2010; Baroya et al., 2009).

Kg parameter, in this case correlated with the frequency and amplification, is one of the successful methods for microzonation, when compared with the classification of ground vibrations based Vs30 (Klasnička et al., 2011). Because the local effects are not only influenced by the depth of 30 meters above Vs alone, but by the bottom surface to bedrock Vs. Nakamura (1997), Huang and Tsi (2002), and Daryono et al. (2009) showed that Kg is proportional to the degree of liquefaction due to earthquake vibrations, thus directly proportional to the degree of damage to the building structure.

Kg is used to combine two local effects parameters, ie amplification and natural frequencies. Frequency is inversely proportional to the degree of damage to buildings due to earthquakes and amplification is directly proportional to the level of building damage due to earthquakes, then Kg estimated by Eq. (2.3). Thereby, microzonation based on local effects can be done easily.

Kg map generated in the Surabaya region as Figure 3.7 can be classified into three parts. First, Kg low (<10) spread in western part to Surabaya Surabaya Center. This correlates with the low kg Alluvium (QA) located in Central Surabaya, Surabaya and in the western part correlated with tongue and Guyangan Anticline consisting of Kabuh Formation (Qpk), Formation Pucangan (QTP), Formation Tongue (WMT) and Formation Sonde (Bis). Second, Kg moderate (10 <Kg <20) are spread in the southern part correlated with Alluvium (QA). Third, high Kg (Kg> 20) contained in Surabaya Northeastern and Northwest are correlated with Alluvium (QA).

Typology of Suitability HRB based Developer Preferences and Soil Vulnerability Index

Having assessed the preference of developers to influence the criteria in selecting the location of High Rise Building with using multi-criteria analysis of the then value of the preference dispasialkan thus visualized where the location is considered appropriate. Stages of analysis using GIS (weighted overlay) which is a method to input the value of preferences as well mespasialkan overlay to take a decision called the Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (SMDA).

SMDA results for the preference of developers in deciding appropriate locations for high rise building then dioverlay with soil vulnerability index study results that show seismic microzonation in the city of Surabaya. The purpose of the overlay of two main things is to get the location of a secure high rise building is still profitable at the same time in the developer perspective. Need to know that the developer or developers tend to build a mixed-use complex in the form of a super block with the concept of vertical compared with sigle concept of high rise building. It is considered to be more advantageous in terms of cost efficiency. Therefore on, figure 3. can be known a safe location and the area remains prospective for the development of the super block of high rise building in the city of Surabaya.

Typology map of land suitability for high rise buildingpada Figure 3. can be interpreted as follows. Regions with a bright blue color with the type of area that has high suitability for the construction of high rise building as it is considered secure in terms of soil and favorable vulnerability assessment in terms of the developer. This area has a weight value of the land suitability for "6". Regions with purple color also can be interpreted as an area that has moderate suitability for high rise building construction site because they are outside the area of seismic microzonation. Regions with the color purple has a weight value of the land kessuaian "5". Then the area with orange, yellow, and beige indicates the location of the sequence have a low suitability for high rise building construction site ie conformity with weight value "4", "3", and "2".

IV. Conclusion

Referral location of high rise building safe and prospective market based developer's perspective is on the western part of the city and most small portion east and south of the city. While most of the area north and east of the city of Surabaya, assessed as the area is prone to catastrophic seismic vulnerability index assessed from the relatively high land.

V. References

Aulia , Belinda , " Siting Suitability Analysis of Petrol Filling Station using Analytical Hierarchy Process and GIS : A Case Study of Surabaya Metropolitan " , Thesis , Civil Engineering Department : Universiti Teknologi PETRONAS , Malaysia , 2011.

Gosar , A , Site effects and soil- structure resonance study in the Kobarid basin (NW Slovenia) using microtremors , Nat . Hazards Earth Syst . Sci. , 10 , 761-772 , 2010

J. Malczewski , GIS and multicriteria Decision Analysis . Canada : John Wiley & Sons Inc. . , 1999.

J. McCoy and K. Johnston , ArcGISTM Using Spatial Analyst . United States : ESRI , 2001.

Kivell . Philip (1993) . Land and the City Patterns and Processes of Urban Change . Routledge , New York

Konno , K. and Ohmachi , T. , Ground -motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor . Bulletin of the Seismological Society of America , 88-1 , 228-241 , 1998.

Megawati , K. , Deng , X. , Walling , MY , And Yamanaka , H. , Shear - wave velocity structure underneath Surabaya Inferred from microtremor survey , The Second International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (ICEEDM - 2) , Surabaya , Indonesia , 19-20 July 2011

Nakamura , Y. , A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface: Quarterly Report of the RailwayTechnical Research Institute , 30 , 25-33 , 1989.

Nakamura , Y. , Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor : World Congress on Railway Research , Proceedings , 1-9 , 1997.

P. Jankowski , "Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision - Making Methods , " IJGIS , vol . 9 (3) , pp . 251-273 , 1995.

SESAME , "Guidelines for the implementation of the H / V spectral ratio technique on ambient vibrations : measurements , interpretation processingand " , 2004 , Available:http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/Del-D23HVUser Guidelines.pdf

Sukardi , Geological map of the Surabaya & Sapulu quadrange , Java , Geological Research and Development Center

Main , W. , Sungkono , a U.S. Bahri , D.D. Warnana , Fuzzy Clustering To Automatic Zonation of Urban Areas Of On The Incomplete Data Parameters Of Hvsr , Seminar Paper ICOMSc 2011.

Anggraeni , Nova Nadya . , 2010. Formulation of Pattern Area Senior High Apartments in Surabaya . Final Regional and City Planning of ITS

Belinda Ulfa Aulia , Widya Utama, Putu Gde Ariastitaa , Abd . Nasir Matori , " Petrol filling station location based on stakeholder preference and micro seismicity zoning " , International conference , March 4-5 , 2013

Go Gyang Sung , " A Study on the Planning Elements of the Intermediate - Zone in the Mixed - Use Development : through surveys of user 's satisfaction" , Thesis , the department of construction engineering , Joo A University , Korea , 2008 .

Soo Hee Han , " a study on the use and characteristics of a mixed - use development by the location " , Thesis , the Department of Construction Engineering , Dankook Unversity , Korea , 2008.

En Jin Jeong , " A Study on the Characteristics and the Locational Residential Regionally Specific Characteristics of ' Residential - Commercial Mixed Use Buildings ' in Seoul " , the journal of geography , Vol.50 No. . - [2003] , Seoul University , Korea , 2003 .

Pill Goo Kim , " A study on the Residental Satisfaction of Mixed - Use Apartment : Focused on Seoul Metropolitan Area " , Thesis , the Department of Urban Planning , Dankook University , Lorea , 2002.

Megawati , K. , Deng , X. , Walling , MY , And Yamanaka , H. , Shear - wave velocity structure underneath Surabaya Inferred from microtremor survey , The Second International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (ICEEDM - 2) , Surabaya , Indonesia , 19-20 July 2011

Indonesian Government Regulation No. 36 Year 2005 on the Implementation Regulations of Law No. 28 of 2002 on Building .

Purwadio , et al . , 2012. Potential Development Area zoning Tall Buildings in Surabaya East Region . Laboratory Research Grant LPPM ITS

Sukardi , Geological map of the Surabaya & Sapulu quadrange , Java , Geological Research and Development Center

Utama , W. , Sungkono , a U.S. Bahri , D.D. Warnana , Fuzzy Clustering To Automatic Zonation of Urban Areas Of On The Incomplete Data Parameters Of Hvsr , Seminar Paper ICOMSc 2011.

Utama , Widya , et al (2011) . Fuzzy Application Automation Microzonasi Earthquake In Solid Settlement Region (Case Study : City of Surabaya) , Research Report Featured ITS , Surabaya

Wafda , Reti . (2004) . Land Tax (LAND TAX) As Instrument Stewardship

Faith Sunario , Superblock Role In City Developments , one day seminar " Prospects superblock " ,Jakarta . 12 September 1992 .

Belya , Adam M. et al , Concept Design Superblock City in terms of design theory , not dierbitkan Seminar , JAFT . Diponegoro University , Semarang , 1999

Nasir , Ir . Nizar , as the Alternative Development Prospects City superblock in Indonesia , SMFT . Univ . Atma Jaya Yogyakarta , Yogyakarta , 1992

Application of Structural Health Monitoring and Early Warning System for Reinforced Concrete System

Data Iranata[1], Suryawan Murtiadi[2], Amien Widodo[3]
1. Civil Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Civil Engineering Department, Universitas Mataram
3. Geophysical Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: data@ce.its.ac.id iranata_data@yahoo.com

Abstract - *Many buildings have been damaged due to earthquakes that recently happened in Indonesia. The main cause of the damage is the large deformation of the building structural component cannot accommodate properly. Therefore, it is necessary to develop the Structural Health Monitoring System (SHMS) to measure precisely the deformation of the building structural component in the real time conditions. This paper presents the development of SHMS for reinforced concrete structural system. This monitoring system is based on deformation component such as strain of reinforcement bar, concrete strain, and displacement of reinforced concrete component. Since the deformation component has exceeded the limit value, the warning message can be sent to the building occupies. This warning message has also can be performed as early warning system of the reinforced concrete structural system. The warning message can also be sent via Short Message Service (SMS) through the Global System for Mobile Communications (GSM) network. Hence, the SHMS should be integrated with internet modem to connect with GSM network. Additionally, the SHMS program is verified with experimental study of simply supported reinforced concrete beam. Verification results show that the SHMS has good agreement with experimental results.*

Keywords: *early warning system; global system for mobile communication; reinforced concrete; structural health monitoring system; short message service*.

I. Introduction

Indonesia area is located at the intersection between four tectonic plates; there is Eurasian Plate at the north-west part, Indo-Australian plate at the south part, Philippine plate at the north part, and Pacific plate at the east part. Hence, most of the Indonesian areas are located in the high risk seismic zone, especially in the west part of Sumatera, south part of Java, and almost all of east part of Indonesia area (Figure 1). The Indonesian Standard for Earthquake Resistant Design [1] divided the seismic zone into six zones it the range between PGA 0.03g to 0.30g. Therefore, it is necessary to develop the appropriate detail design for the structural building. However, for the high rise building, especially building with high occupancy level, such as residential, office, commercial area, and school building, the appropriate detail design is still not enough.

Those types of buildings are also need to be monitored in the real time to observe its detail behavior, whether it is still in the life safety condition or has been already reach the collapse condition [2]. In the past, the decision whether the building condition is still safe or not after a significant event such as an earthquake was occurs is made

Sudah dipublikasikan di ICSBE 2014
3rd International Conference on Sustainable Built Environment

based on visual inspection of damage to the structural system. Even the most experienced of inspectors have difficulty determining the state of a building's internal structure condition, so most error on the side of caution. Usually, only about 30% of the buildings closed to occupants are really structurally damaged [3]. Based on those conditions, it is necessary to develop the Structural Health Monitoring System (SHMS) for building structure.

This paper presents the SHMS for reinforced concrete structural system. The reinforced concrete structural system has been chosen in this study due to it common application at the most building in Indonesia area. The main objectives of this study is to observe and analyze the response of the reinforced concrete structural system in the real time as well as to send the message about the response to the user via Short Message Service (SMS) through the Global System for Mobile Communications (GSM) network. Hence, the SHMS should be integrated with internet modem to connect with GSM network. For addition, if the response of the reinforced concrete structural system has been exceeds the limitation, the warning message can be sent to the user. Furthermore, this warning message has also can be performed as early warning system of the reinforced concrete structural system. Moreover, this paper is the pilot project of the SHMS and early warning system (EWS) that going to be developed in our research group. To verify this system, the full scale reinforced concrete simply supported beam has been made and installed with the sensor instrumentations such as rebar and concrete strain gauge as well as LVDT at the middle span of the beam.

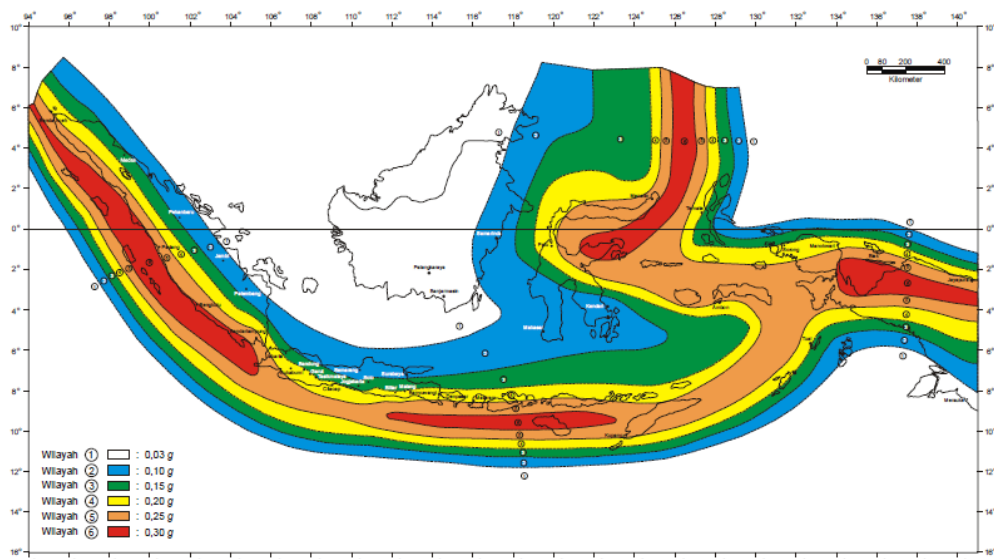



Figure 1. Indonesian seismic zone based on [1]

II. Research Method

The research method in this study is presented in Figure 2. Generally, it consists of two part topics, the software and hardware developing. The procedure is starting with literature review from previous studies, following by problem definition, and then installing the sensor instrumentation. The next step is integrating the sensor instrumentation with data acquisition PC and followed by data processing. Finally, if the data result has exceeded the threshold value, the warning message is occur. Combined with GSM modem, the warning can be sent via SMS

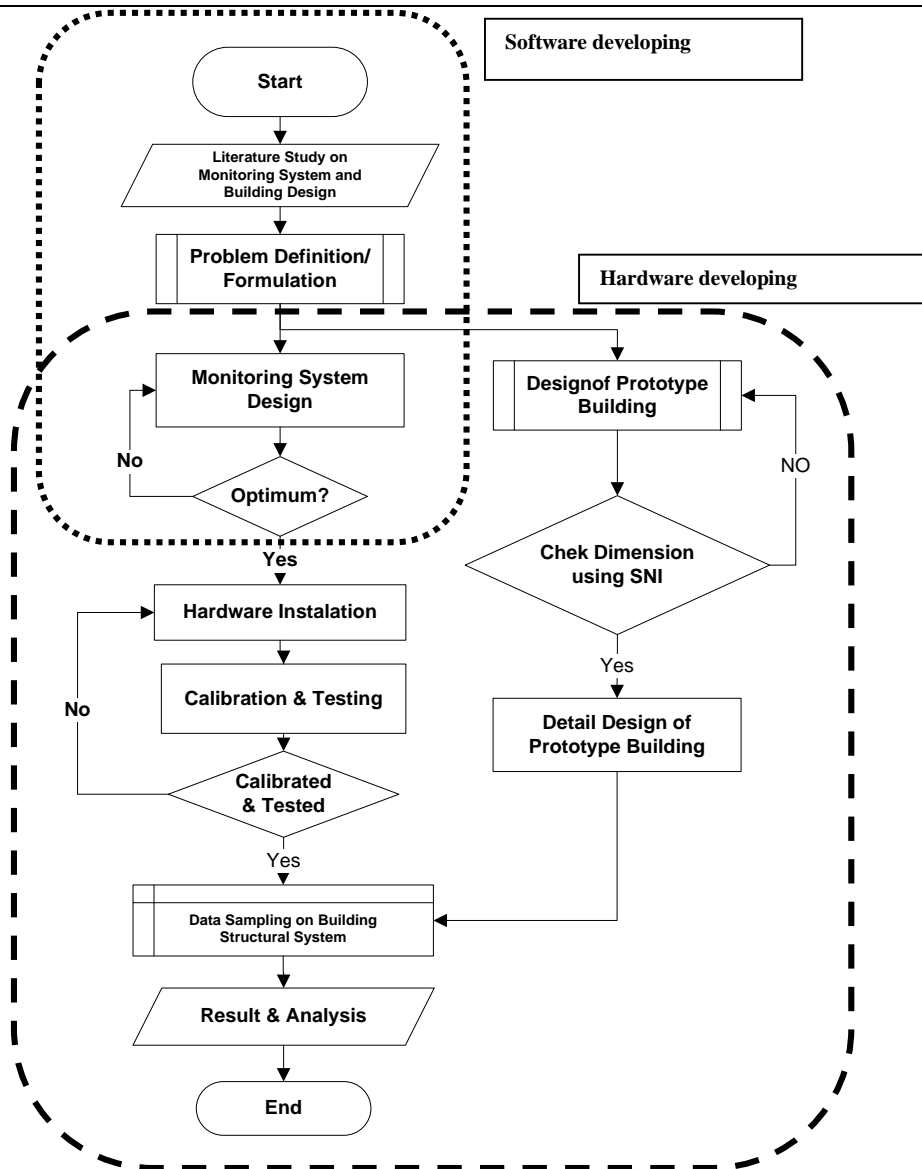



Figure 2. Research method procedure

2.1. Previous Studies

Generally, the SHMS is usually applied in the bridge structural system which is the main objective is to monitoring the performing system identification and damage detections [4]. The monitoring parameters are strain, deformation, tilt, and displacement which are useful and complementary tool to assess the bridge structural performance. The application of SHMS in the high-rise building is also presented by [5]. The research present that the SHMS can be used to increase the safety and optimize operational and maintenance costs of the structures. The data resulting from the monitoring program is also can be used to optimize the operation, maintenance, repair, and retrofitting of the structure based on reliable and objective data. Detection of ongoing damage can be used to detect deviations from the design performance. Monitoring data can be integrated in structural management systems and increase the quality of decisions by providing reliable information.

2.2. Problem Definition and Sensor Instrumentation

Since this paper is the pilot project of the SHMS and EWS, the full scale of reinforced concrete simply supported beam has been made and installed with the sensor instrumentations, as illustrated in Figure 3. The monitoring parameters are reinforcement bar and concrete strain as well as vertical displacement at the middle span of the beam. Therefore, the sensor instrumentation that appropriate for those deformations component are strain gauge for reinforcement bar and concrete to measure the strain value and also LVDT to measure the vertical displacement value.

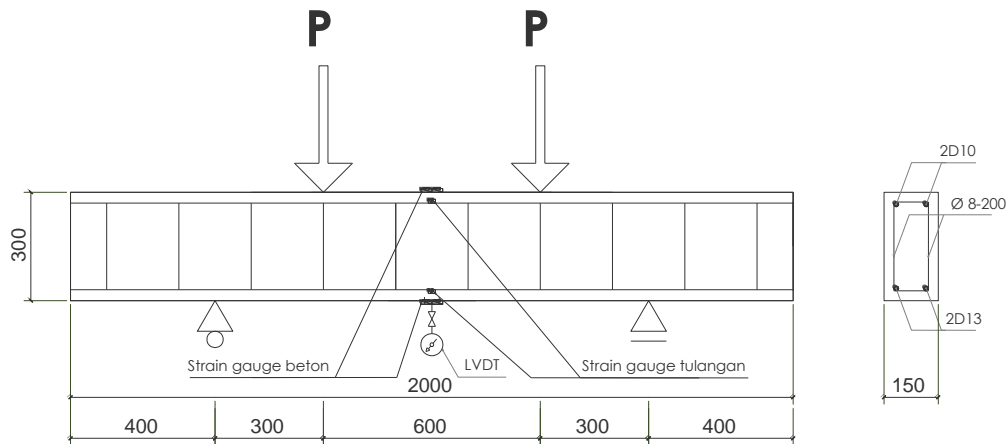



Figure 3. Reinforced concrete simply supported beam specimen

Based on the reinforced concrete simply supported specimen, as presented in Figure 3, the critical value is on the cracking moment (Mcr). The Mcr value can be assumed as the threshold value for the warning message. Based on the simple hand calculation the Mcr value is about 845.7 kg-m. Since the monitoring parameters are strain and displacement, so the Mcr value can correlated with concrete strain value equal to 1.39×10-4. At the same condition, the strain value for compression and tension reinforcement bar is 9.04×10-5 and 8.63×10-5, respectively. Thus, since once of the strain value has exceeded the threshold the warning message is occur and sent it to the building user.

2.3. Communication with Data Acquisition-PC and Data Processing

The procedure of the data communication between data logger, data acquisition and server PC is illustrated in Figure 4. The integrating system between building and sensor instrumentation should be connected with data acquisition-PC. The main component of data acquisition-PC is the Analogue to Digital Converter (ADC) which transferring the analogue signal into the digital data that can be read by PC. This communication can be performed using RS232 or USB communication port. The schematic configuration of ADC is illustrated in Figure 5. Furthermore, the electrical component configuration that applied in the data logger board is depicted in Figure 6. However, the data acquisition-PC is not only used to display and log data, but also store data temporarily and after computation with some threshold value, send to the server via internet connection periodically. Another scheme, real-time approach can be conducted in order to send data immediately. Server may contain web engine, SMS gateway library, and database as main tools. It is attached with modem or cell phone that has SMS gateway mechanism. Once data transmitted into server, it is handled by web application under web engine. Web application's main features are receiving, storing data into database and at the same time giving command to SMS gateway library, sending SMS through modem or cell phone to defined users who need critical information about building.

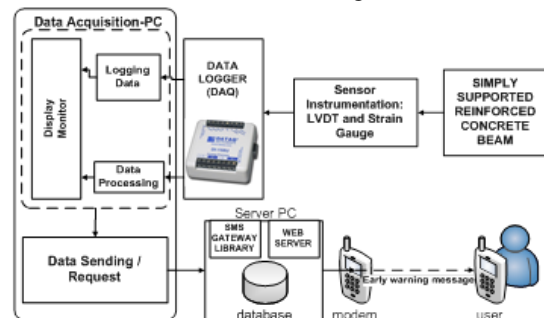



Figure 4. Hardware configuration

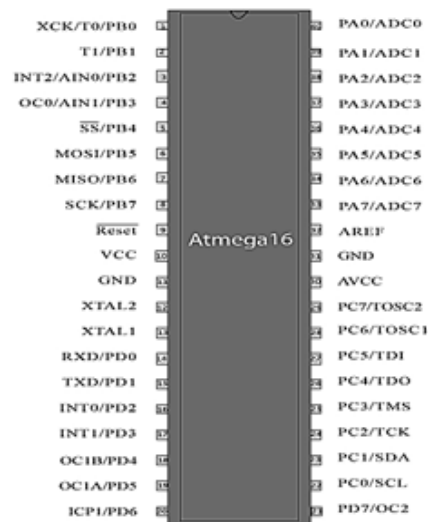



Figure 5. The schematic configuration ADC

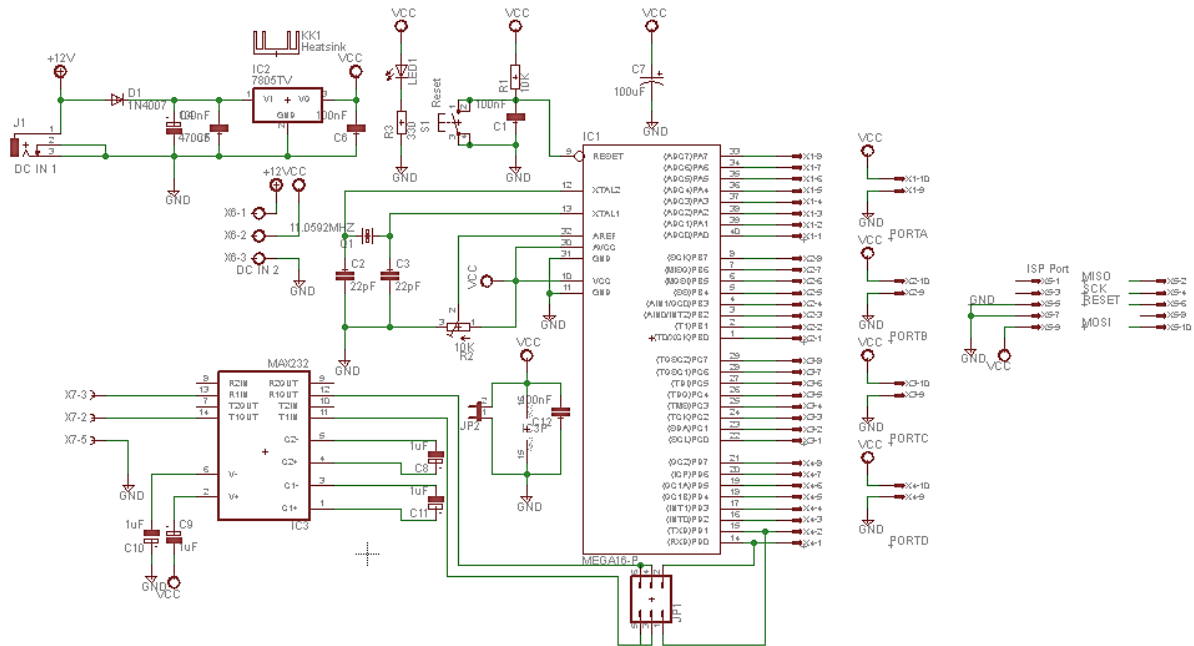



Figure 6. Electrical component of data logger

Moreover, the flowchart and pseudo code of the warning message program using SMS gateway is presented in Figure 7 and Figure 8, respectively. There are three components that play important role in this part; data recording, threshold value, and cell phone number. The recording data obtained from sensor instrumentation are analyzed and evaluated with the threshold value. Since the recording data has passed the threshold value, the warning message can be sent to the corresponding cell phone numbers.

III. Results and Discussion

The proposed SHMS and EWS has been performed and verified with experimental testing of reinforced concrete of simply supported beam. Figure 9 show the application of the warning message using Visual Basic programming language. There are seven sensor instrumentations that being installed in the beam specimen are concrete strain gauge at top and bottom part of the beam (represent compression and tension condition), rebar strain gauge for compression and tension, and LVDT at the middle span of the beam. The critical point of this experimental testing is Mcr, which has correlated value concrete strain; compressions rebar, and tensions rebar is 1.39×10-4, 9.04×10-5 and 8.63×10-5, respectively. The warning message threshold is divided into four parts; there are 0.25 of Mcr, 0.50 of Mcr, 0.75 of Mcr, and 1.00 of Mcr, which also related with the corresponding strain and displacement value. Since the value of the corresponding strain has reach the threshold, the warning message are sent to corresponding cell phone numbers that being written in the warning message application program. The illustration of warning message application that appears in cell phone is presented in Figure 10. However, since this research is the pilot project study in our research group, the main objectives is only how to perform the real time SHMS and EWS using the proposed program. The verification using beam specimen is to check whether the proposed program can perform the real time SHMS and EWS properly. And the results that the proposed program is perform very well, which means the SHMS and EWS can be delivered in real time to the corresponding cell phone number.

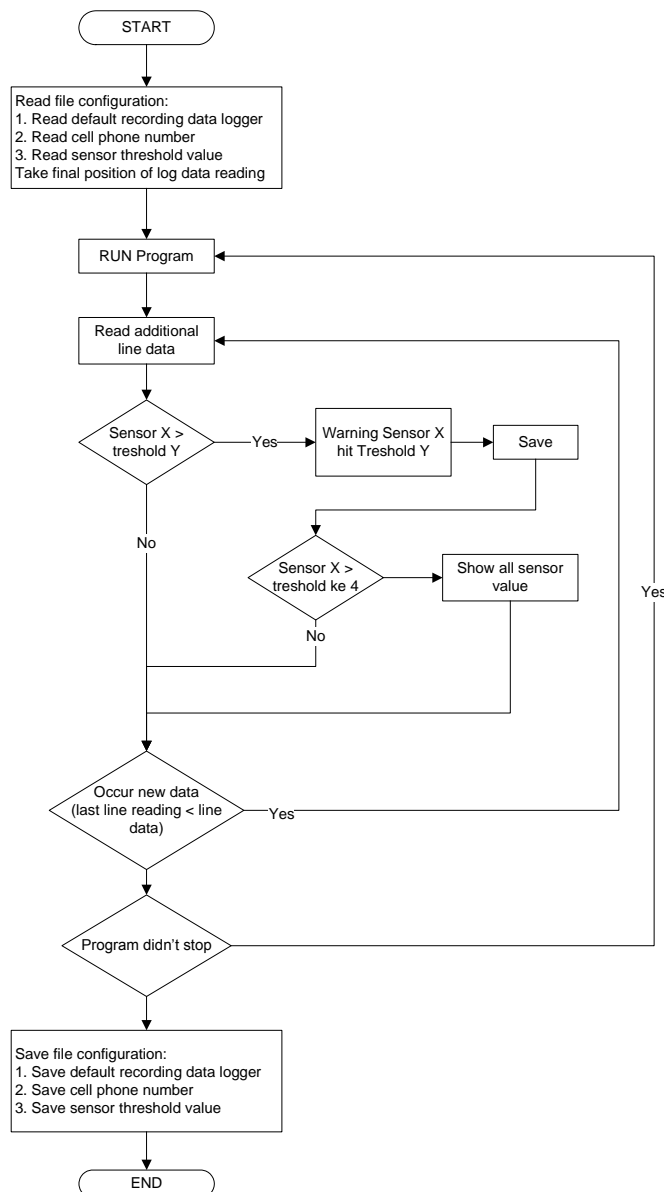



Figure 7. Flowchart of warning message

```
read file .ini
for each sensor i=1 to 6
    for j=1 to 4
        treshold(i)(j)=readtresholdfile(i)(j)
    end for j
    hittreshold(i)=0
end for i
read handponenumber
lastposition=findlastposition()
while(not terminated)
    while(available line to read)
        for each sensor i=1 to 6
            for j=1 to 4 - hittreshold(i)
                if sensorvalue(i)>readtreshold(i)(j) then
                    print warning
                    hittreshold(i)=j
                end if
            end for j
            if hittreshold(i)=4 then
                for each sensor k=1 to 7
                    print sensorvalue(k)
                end for
            end if
        end for i
    end while
end while
save file .ini
```

Figure 8. Pseudo code of warning message

Figure 9. Application of the warning message

Figure 10. Warning message as SMS in the cell phone

IV. Conclusions

The proposed SHMS and EWS program is proposed and verified in this study. This monitoring system is based on deformation component such as strain of reinforcement bar, concrete strain, and displacement of reinforced concrete component. Since the deformation component has exceeded the limit value, the warning message can be sent to the corresponding building occupies. The warning message can also be sent via SMS through the GSM network. The main objective of this study is to perform the real time SHMS and EWS using the proposed program. The verification results show that the proposed program can perform the monitoring system and warning message in the real time corresponding cell phone number.

Acknowledgements

This research was funding by EPI-UNET program by Center of Earth, Disaster and Climate Change Research at ITS Surabaya. The authors also like to thank to all the members that being supporting in this research.

References

[1] SNI 1726 (2002), Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung (In Indonesian).

[2] FEMA-356 (2000), Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

[3] Digitexx (2006), Building instrumentation facilitates recovery after an earthquake.

[4] Inaudi, D. (2009), Log term static structural health monitoring system, 4th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure, Zurich, Switzerland.

[5] Inaudi, D., Yew, Y.T., Glisic, B., Ming, L.J., & Tat, N.C. (2007), Large scale lifespan monitoring of high-rise building using long-gauge fiber optic sensors, 3rd International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, Vancouver, Canada.

EVALUASI KERENTANAN GEDUNG SEKOLAH DASAR BETON BERTULANG DUA LANTAI PASCAGEMPA

Endah Wahyuni , Data Iranata, Amien Widodo dan Djoko Irawan
Jurusan Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: endah@ce.its.ac.id

Abstrak - *Penelitian ini adalah melakukan assesmen kerentanan struktur gedung beton bertulang dengan studi kasus gedung beton bertulang Sekolah Dasar (SD). Diharapkan dengan adanya studi ini maka dapat diketahui kondisi bangunan yang ditempati anak-anak untuk sekolah dan hasil penelitian ini juga dapat sebagai masukan kepada instansi terkait. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan assesmen kerentanan gedung akibat pasca gempa, dengan rincian tujuannya adalah mengidentifikasi dan mendapatkan data gambar bangunan Sekolah Dasar yang berada pada daerah rawan gempa. Dari penelitian sebelumnya telah dilakukan pengetesan-pengetesan di lapangan dan mengevaluasi kondisi fisik gedung apakah ada retak-retak atau tidak. Kemudian dilakukan kajian perilaku struktur gedung SD tersebut terhadap beban gempa secara numerik dengan menggunakan software ETABS, yaitu dengan melakukan analisa pushover. Analisa ini adalah analisa statik yang menyederhanakan beban gempa yang ada. Hasil dari analisa pushover ini dibandingkan dengan hasil dari pengetesan di lapangan. Dan diketahui bahwa gedung sudah mengalami pengurangan 50% kapasitas kolomnya akibat beban gempa yang ada.*

Kata Kunci : *assesmen, kerentanan, beton bertulang, gedung Sekolah Dasar, pascagempa*.

1. Pendahuluan

Gempa bumi dapat merusak bangunan perumahan, sarana dan prasarana penting. Kerusakan akibat gempa bumi di masa lalu menunjukkan bahwa betapa besarnya kerugian yang kita alami. Sekolah-sekolah di daerah yang rawan terhadap gempa bumi sangatlah rentan pada saat terjadinya gempa bumi, terutama resiko terjadinya kerusakan berat bahkan memakan korban baik siswa maupun guru. Masih banyak sekolah yang dibangun tanpa menggunakan dasar dan pondasi bangunan yang kuat terhadap gempa bumi. Apabila pembangunannya tidak mematuhi standar keselamatan bangunan, jumlah sekolah yang rentan akan meningkat. Berdasarkan pengalaman bencana alam di masa lalu, sekolah yang tidak aman menjadi penyebab kematian apabila terjadi bencana.

2. Tujuan

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah melakukan assesmen kerentanan bangunan beton bertulang Sekolah Dasar (SD) akibat pengaruh beban gempa. Sedangkan tujuan rinci dari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Mengkaji data bangunan SD beton bertulang dua lantai yang dilakukan pengetesan untuk mengetahui kemampuan struktur akibat beban Gempa.
b) Mengkaji perilaku struktur gedung SD tersebut terhadap beban gempa secara numerik.
c) Membuat perbandingan antara hasil pengetesan dan uji numerik.

3. Metode Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

(1) Kajian teoritik dimulai dengan mencari literatur yang berhubungan dengan asesmen kerentanan bangunan dan juga perilaku bangunan terkena gempa.

Makalah ini sudah dipublikasikan pada SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL IX TAHUN 2013, Pascasarjana Teknik Sipil, ITS, Surabaya

(2) Pengambilan data dimulai dengan gambar struktur gedung beton bertulang yang akan dilakukan assesmen kerentanannya terhadap pengaruh gempa. Dicari data hasil pengetesan gedung tersebut dari penelitian sebelumnya.

(3) Kajian Numerikal dilakukan dua kali yaitu:

a. Kajian Awal: Setelah didapatkan gambar gedung SD yang diteliti, maka akan dilakukan perhitungan dengan bantuan software ETABS. Dalam melakukan analisa ini diperlukan data: Mutu bahan untuk struktur gedung dan atap, dan dimensi elemen struktur dan atap. Gedung digunakan sebagai sekolah, sehingga perhitungan beban dan nilai keutamaan gedung mengacu pada aturan pembebanan Indonesia, yaitu beban mati, hidup dan gempa.

b. Analisa pertama dilakukan analisa kapasitas, dimana diharapkan diperoleh nilai kapasitas elemen-elemen strukturnya. Nilai kapasitas ini efektif sekitar 0.7. Analisa berikutnya adalah analisa non-linear pushover, dimana akan diketahui posisi sendi plastis yang terjadi di struktur dan mengetahui drift dan base shear struktur.

c. Analisa tingkat kinerja struktur berdasarkan FEMA 356 (2000), konsep *Structural Performance Levels* didasari pada *Performance Based Design* yang menetapkan tingkat kinerja (*Performance Level*) yang diharapkan dapat dicapai saat struktur mengalami gempa dengan intensitas tertentu. Adapun penetapan tingkat kinerja suatu bangunan dapat didasarkan atas aturan tingkat keselamatan yang diberikan kepada penghuni gedung selama dan sesudah terjadi gempa serta biaya terhadap kerusakan maksimum yang masih diijinkan sesuai dengan tingkat kepentingan, pertimbangan ekonomis dari pemilik bangunanan. FEMA mengatur tingkat kinerja suatu bangunan sebagai berikut :

a. Operasional

Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktur dan *non-structural*. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

b. Immediate Occupancy

Pada level ini gedung diperkirakan dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi pada komponen struktur sedangkan pada komponen *non-structural* terjadi keruskaan kecil. Gedung masih dapat berfungsi kembali dengan sedikit perbaikan. Resiko terhadap keamanan gedung adalah sangat kecil.

c. Life Safety

Pada level ini gedung diperkirakan mengalami banyak kerusakan struktur dan *non-structural*. Perbaikan dibutuhkan sebelum gedung dapat dipakai kembali dan mungkin tidak ekonomis.

d. Collapse Prevention

Pada level ini gedung diperkirakan terjadi kegagalan (*collapse*) pada komponen struktur.

4. Pemodelan Gedung

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada sekolah dengan struktur beton bertulang dua lantai, dimana tampak dan denah strukturnya dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan material beton yang digunakan mempunyai mutu fc' = 15.1 Mpa.

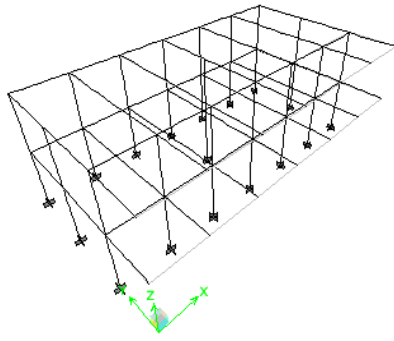
Gambar 1. a. Tampak, b. Denah gedung beton bertulang yang dianalisa

Pemodelan Gedung dilakukan dengan bantuan ETABS. Program bantu ETABS seperti program bantu *finite element* yang lain memiliki beberapa tahapan kerja, antara lain:

1. Pembuatan model struktur sesuai dengan bentuk geometri dan dimensi bangunan.
2. Memasukkan data material, dimensi penampang, balok kolom, jenis beban dan

kombinasi beban. Memasukkan besarnya beban luar pada model struktur balok dan kolom. Analisa gaya dan kekuatan struktur dalam menahan beban luar.

3. Melakukan analisa *Non-linear Pushover Analisis*.

Gambar 2 menunjukkan model gedung beton bertulang yang dilakukan dengan program bantu ETABS.

Gambar 2. Model 3D gedung beton bertulang 2 lantai

5. Analisa Pushover

Tahapan utama dalam analisis *pushover* adalah sebagai berikut:

a) Menentukan titik control untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik control dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.

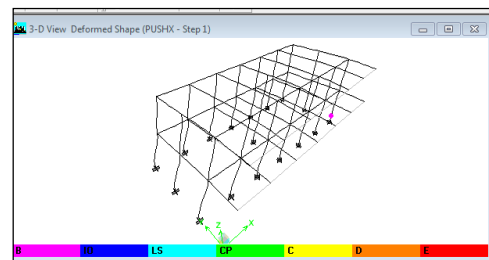
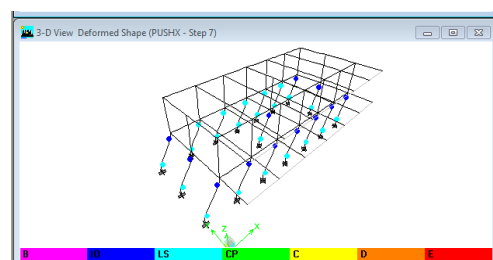
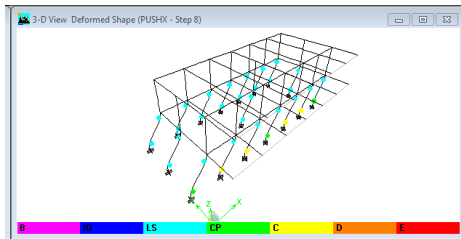
b) Membuat kurva *pushover* dari berbagai pola distribusi gaya lateral yang ekivalen dengan distribusi gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya. Karena gempa sifatnya tidak pasti, perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral.

c) Estimasi besarnya target perpindahan. Titik kontrol didorong sampai target tersebut, yaitu suatu perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

d) Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dianggap memuaskan jika memenuhi persyaratan deformasi dan kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen yang jumlahnya relatif sangat banyak maka proses harus dikerjakan oleh komputer.

Kurva pushover dapat digambarkan secara kualitatif kondisi kerusakan yang terjadi pada level kinerja yang ditetapkan agar mempunyai bayangan seberapa besar kerusakan itu terjadi. Selain itu dapat dikorelasikan di bawahnya berapa prosentase biaya dan waktu yang diperlukan untuk perbaikan. Informasi itu tentunya sekedar gambaran perkiraan, meskipun demikian sudah mencukupi untuk mengambil keputusan apa yang sebaiknya harus dilakukan terhadap hasil analisis bangunan tersebut. Pada gedung sekolah dasar beton bertulang ini dianalisa penurunan kapasitas kolom, dengan membuat beberapa model yang berbeda yaitu:

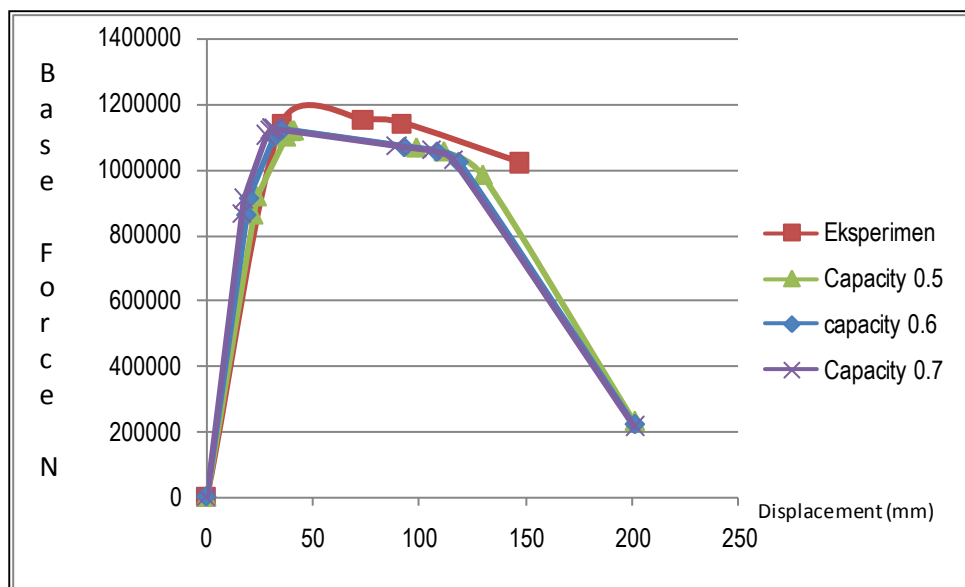
- Kapasitas kolom menjadi 70%
- Kapasitas kolom menjadi 60%
- Kapasitas kolom menjadi 50%

Dari ketiga model yang dianalisa tersebut, diketahui bahwa pada step 1, sudah terjadi sendi plastis, yaitu pada kolom bagian bawah seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada punurunan kapasitas kolom 70%, terlihat bahwa step 9 terjadi perpindahan dari level aman ke IO, sedangkan struktur memasuki level *Collapse* pada step 10. Sedangkan pada penurunan kapasitas kolom 60% dan 50%, mengalami perpindahan level dari aman ke IO pada step 7, sedangkan step 8 sudah terjadi beberapa kolom mengalami *collapse* seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Dapat dikatakan bahwa pengaruh kemampuan kolom akan sangat mempengaruhi kemampuan gedung.

Gambar 4: Step 1 Pushover Analysis

Gambar 5: Step 7 Pushover Analysis

Gambar 6. Step 8 Pushover Analysis

6. Perbandingan dengan Eksperimen

Perbandingan antara hasil numerik dan pengetesan dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil numerik dengan perbandingan kapasitas yang berbeda.

Tabel 1. Perbandingan diplacement (mm) dan base force (N) numerik dan eksperiment

Step	Kapasitas 70%		Kapasitas 60%		Kapasitas 50%		Pengetesan	
	Displ	Base Force	Displ	Base Force	Displ	Base Force	Displ	Base Force
	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N
1	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0
2	22.12	860649.44	18.83	861339.38	16.47	861119.63	35.28	1140000
3	23.76	916234.06	20.11	912235.69	17.53	909649.69	73.55	1150000
4	37.46	1098571.38	31.95	1100086.25	28.11	1102810.00	91.94	1140000
5	39.80	1115068.88	33.82	1115983.88	29.63	1117623.88	147.1	1020000
6	40.43	1117326.00	34.80	1120285.63	30.48	1121990.00		
7	41.17	1117406.63	35.39	1120674.75	30.90	1123081.88		
8	98.77	1065064.13	92.99	1068402.13	31.34	1123465.38		
9	111.67	1053341.00	108.29	1054513.88	31.75	1123656.75		
10	129.91	981642.44	118.50	1023124.56	89.35	1071433.88		
11	201.39	230904.44	201.20	221100.09	105.95	1056383.63		
12					116.22	1025661.13		
13					201.06	215887.94		

Gambar 7. Perbandingan diplacement (mm) dan base force numerik dan eksperiment

Dari Gambar 7 dapat dilihat perbandingan antara displacement (mm) dan base force (N) pada gedung setelah dilakukan analisa numerik pushover dan hasil eksperiment. Dari perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa pada kolom yang mengalami menurunan 50% lebih mendekati hasil eksperiment dibandingkan dengan hasil numerik pada penurunan kapasitas 60% dan 70%. Sehingga dapat dikatakan bahwa gedung sudah mengalami penurunan kapasitas 50% akibat adanya beban gempa yang terjadi.

7. Kesimpulan

Dari studi ini diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Elemen-elemen struktur, yaitu kolom, balok dan pelat yang terpasang di lapangan, di cek terlebih dahulu apakah elemen-elemen tersebut mampu menahan beban yang diterima sesuai dengan kombinasi yang ada. Dari analisa ini diperoleh bahwa elemen-elemen yang ada mampu menahan beban-beban yang harus ditahannya, hanya pada elemen kolom, walaupun masih mampu menerima beban yang ada tetapi sudah memiliki rasio 0.7 antara beban ultimat dan kapasitas kolom.
2. Setelah dilakukan analisa pushover dengan mengurangi kemampuan kolom 0.7, 0.6 dan 0.5 dan dibandingkan dengan pengetesan di lapangan, diketahui bahwa kolom dengan pengurang kapasitas 50% yang mendekati dengan hasil pengetesan. Ini menunjukkan bahwa kapasitas gedung yang nyata sudah turun sebesar 50% akibat terkena gaya lateral, yang dalam kenyataannya adalah akibat gaya gempa.
3. Pengetesan dengan displasemen 0.25% menunjukkan bahwa terjadi retak pada komponen non-struktural, sedangkan pada pemberian displacement 0.5% telah terjadi retak-retak pada komponen struktural yaitu kolom. Pada kondisi displasemen sekitar 100 mm adalah kondisi ultimat struktur, setelah itu struktur mengalami kondisi plastis.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASCE.2000. *FEMA356 : Prestandard and Commentary for The Sismic Rehabilitation of Buildings*.
2. Badan Standarisasi Nasional 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002).* Bandung : BSN.
3. Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002).* Bandung : BSN.
4. Berto, L, et al. 2009. ”Seismic assessment of existing RC Structures affected by degradation Phenomena“, *Structural Safety,* Elsevier, volume 31, pp. 284-279. January 2009.
5. Departemen Pekerjaan Umum. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983*. Jakarta : DPU.
6. FEMA. 2004. FEMA 424. *Design Guide for Improving School Safety in Earthquakes, Floods and High Winds,* USA.
7. Iranata, D. and Suswanto, B.2010. “*Realistic Pushover Analysis of Reinforced Concrete Low-Rise*” *1st Makassar International Conference on Civil Engineering*, Makassar.
8. Tajunnisa, Y., Wahyuni, E., et al, 2011, “*Earthquake Resistant Design of Reinforced Building with Pushover Analysis*”, International Conference 3rd APTECS, 22-23 December 2011, Surabaya

07 Vulnerability Assessment of Reinforced Concrete Building Subjected to Seismic Loads Using Pushover Analysis

Endah Wahyuni, Data Iranata , Heppy Krisdijanto, Windya Dirgantari
Jurusan Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: endah@ce.its.ac.id

Abstract - *Buildings should be designed to withstand an earthquake based on earthquake planning standard. However, the references used in the regulation could not show building performance to the actual earthquake directly. Therefore, it required an assessment of the existing buildings, in order to evaluate their vulnerability (structural performance level). This study discussed the vulnerability assessment of reinforced concrete buildings from the analysis of the relationship between base shear and displacement, and any failure that occurred. The first step of the evaluation was analyzed the seismic loads with Static Nonlinear (Pushover) Analysis using SAP2000 software. The pushover analysis results showed the level of damage to assess the building damages. This research was based on SNI 03-1726-2002, Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273/356, FEMA 440, and the Applied Technology Council (ATC)-40. Displacement values obtained from Pushover Analysis compared with the field studies. From the pushover analysis, the results obtained the capacity curve showing the relationships between the base shears and the displacements, reviewed at each elastic conditions, ultimate, plastic and collapse. The numerical results turned out to be closed to the performance level of the structure in the field. Thus the analysis can be used as a reference on an assessment level of performance and behavior of the existing structure as well as the vulnerability of the structure.*

Keywords : *Earthquake Resistant Buildings, Nonlinear Static Pushover Analysis, Curve Capacity, Performance Structure*

Abstrak—*Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa berdasarkan peraturan standar perencanaan ketahanan gempa. Namun demikian, acuan yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan kinerja bangunan terhadap suatu gempa yang sebenarnya. Untuk itu diperlukan assessment terhadap bangunan - bangunan sekolah yang telah ada, agar dapat dievaluasi kerentanannya (tingkat kinerja struktur). Studi ini membahas tentang assessment kerentanan gedung beton bertulang yaitu analisa tentang hubungan base shear dengan displacement dan kerusakan yang terjadi. Tahap pertama pengevaluasian adalah melakukan analisa beban seismik dengan program bantu Statik Nonlinier (Pushover) Analisis pada SAP2000. Dari hasil analisa pushover dapat dilihat level kerusakan yang terjadi sehingga dapat dilakukan assessment kerusakan gedung. Penelitian berpedoman pada SNI 03-1726-2002, Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273/356, FEMA 440, dan Applied Technology Council (ATC)-40. Nilai displacement yang didapat dari hasil perhitungan numerik dengan Pushover Analysis dibandingkan dengan hasil penelitian di lapangan. Dari analisa pushover didapatkan hasil berupa kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan antara base shear dengan displacement yang ditinjau pada setiap kondisi elastis, ultimate, plastis sampai titik keruntuhannya ternyata mendekati kondisi tingkat kinerja struktur pada saat dilakukan pengujian di lapangan. Sehingga analisa ini dapat dijadikan acuan sebagai assessment tingkat kinerja dan perilaku kerentanan struktur.*

Kata Kunci— *Bangunan Tahan Gempa, Analisa Statik Nonlinier Pushover, Kurva Kapasitas, Tingkat Kinerja Struktur*

Introduction

Earthquake is a natural disaster that can destroy building facility and another important pre facility. In past, the earth quake's deterioration had shown that how major is the suffer we had. Schools that are located in the center of earth quake sometimes become vulnerable when quakes coming in, particularly the risk of major damage or casualties will be suffered either students and teachers. Therefore, an assesment is required to take to schools buliding, in order to be evaluated its vulnerability (structure performance level) which regulated in FEMA (Federal Emergency Management Agency) 356 so as the building is proven to be used and able to resist quake.

Buildings which located to sensitive quake area are planned to be able to substain to quake. Most of building structure are planned based on quake resistance planning standard regulation. The regulation is composed to avoid any casuality if the building collapse or minimize the damage of medium or light quake consequences and restricting the residents inconveniency. Nevertheless, the references that were used in the regulation can't directly prove the building performances to real quake.

Non linear static analysis (pushover) is about analyzing procedure to learning on buildings collapse manner against the quake. This analysis were conducted by providing statics lateral load pattern to its structure,an increased stagely with digging factors to the lateral movement target from achieved [2]. Pushover process can be done by load controller procedure or displacement controlled.

Displacement score that derives from numerical calculation results with pushover analysis will compares to prior field research result, which can be found a movement dynamic of quake that will be able to bear by reinforced concrete to its critical conditions.

Research Concept

This research is planned to analyze a reinforced concrete building vulnerability that become study object. By means of the modelling of reinforced concrete into SAP 2000 structure analysis supporting program. Surfaces strength of the structure were analyzed elastically, then seismic load is analyzed by pushover analysis supporting program. Displacement score and base shear that result from above analysis shall be compared to field testing result and its performance level are assesed to collapse point.

Methodology

This process is shown in flow diagram methodology that can be seen in a flow diagram as follows :

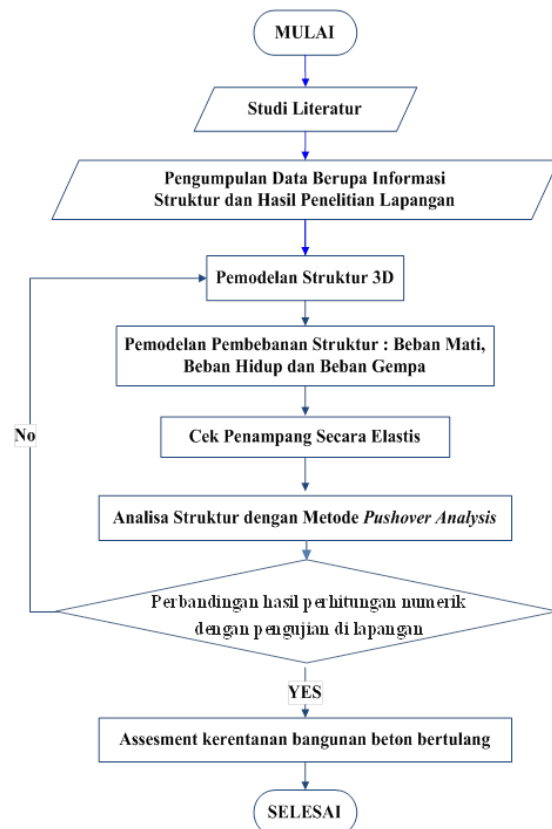



Figure 1. Flow Chart of The Study Methode

Result and Discussion

Case Study

In this study, 2 story building object is selected as school building along with building data record as follows:

1. Seismic Zone :Zone 2, Hard soil
2. Building Configuration
   a. 2nd Floor : 3.6 m
   b. Roof floor : 3.6 m
3. Capacity materials:

- compressive strength (fc') : 15.1 Mpa
- Self weight : 2400 kg/m3
- Elasticity Concrete, Ec : 4700√f'c

Makalah ini sudah dipublikasikan pada International Seminar on Applied Technology, Science, and Art (4th APTECS 2013)

: 18263.59 Mpa

- Longitudinal steel bar yielding strengths (Fy) : 287.2Mpa
- ultimate strengths (Fu) : 425.5 Mpa
- Transverse steel bar

yielding strengths (Fy) : 477.2Mpa
ultimate strengths (Fu) : 678.1Mpa

4 Data Sructure

a. Slab

- 2nd Floor t = 17 cm
- Roof floor t = 16 cm

b. Beam

- Beam B1 : 35 cm x 60 cm
- Beam WB2A2 : 40 cm x 40 cm
- Beam WB2C2 : 40 cm x 45 cm
- Beam WB2AR : 24 cm x 45 cm
- Beam WB2CR : 24 cm x 45 cm
- RB 1 : 24 cm x 35cm

c. Column

- Column A1 – A7 : 35 cm x 40 cm
- Column C1 – C7 : 35 cm x 40 cm
- Column C2 : 24 cm x 40 cm

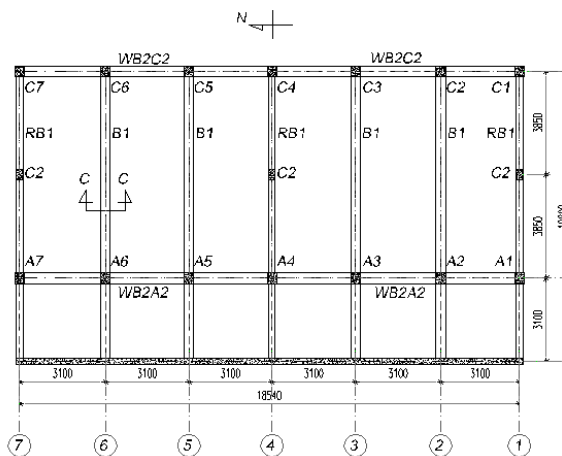



Figure 2. Plan view of 2nd Floor

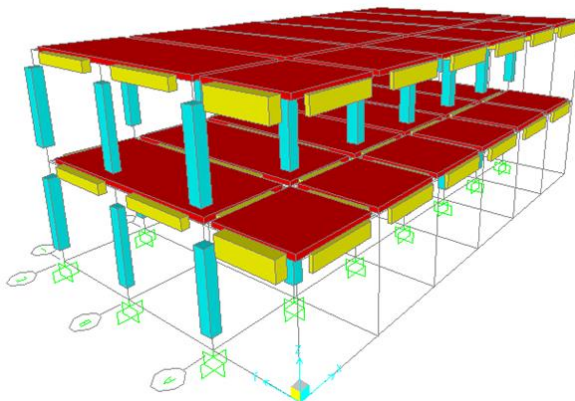



Figure 3. Modeling Structure

Based on field research, the building is provide a pushover to a certain movement score. Herewith a field test result of research data :

Table 1 School Building Testing Data

Displacement Target (%)	Roof Displacement mm	Base shear Ton
0	0	0
0.25	18.39	90
0.5	36.78	114
0.75	55.16	116
1	73.55	115
1.25	91.94	114
1.5	110.33	111
1.75	128.71	107
2	147.1	102
2.25	183.88	91
2.5	220.65	87
5	376.75	33

Elastical Analysis

<u>Structure Load</u>

1. Dead Load (DL)
   - ➢ Self weight (SW) calculated automatically by the SAP2000 program
   - ➢ Super Imposed Dead Load (SIDL):

a. 1st Floor

MEP : 0.10 kN/m2
Ceramic : 0.24 kN/m2
Spesi : 0.21 kN/m2

b. Roof floor

MEP : 0.10 kN/m2
Waterproofing : 0.05 kN/m2

- ➢ Clay brick : 2.5 kN/m2
- ➢ Concrete wall : 24 kN/m3

2. Live Load (LL)

Schools = 2.5 kN/m2
Roof = 1.0 kN/m2

3. Quake Load (E)

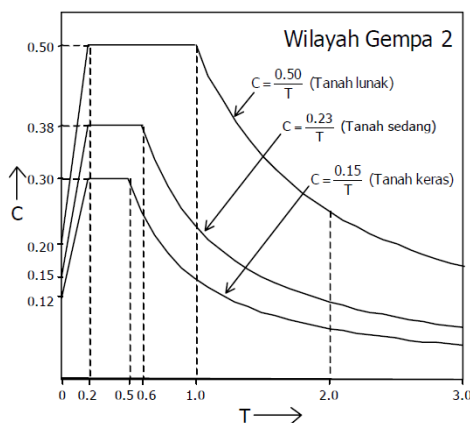



Figure 4. Response Spectra Plan for seismic zone 2 (SNI 1726-2002)

Ultimate Factor (I) that is using to magnify quake load plan in order the structure would be able to bear quake load with longer period or in other words, minor damage level is using score 1 for school building (SNI-1726-2002 tabel 1). And quake reduction factor score represent of building structure (R) that 3.5 (Reinforced Concrete SRPMB, SNI-1726-2002 table 3)

Where as living load reduction that were used as quake mass source has been arranged in Peraturan Pembebanan Indonesia for Building (PPIUG) 1983, in which demonstrate that living load reduction coefficient for school's room of 0.5 which means that living load when quake occures will less than building in proper condition.

Combinaton of Gravity Load:

1) 1.4 DL
2) 1.2 DL + 1.6 LL

Combination of Earthquake Load:

3) 1.2 DL + 1.0 LL + 1.0 EX + 0.3 EY
4) 1.2 DL + 1.0 LL + 1.0 EX - 0.3 EY
5) 1.2 DL + 1.0 LL - 1.0 EX + 0.3 EY
6) 1.2 DL + 1.0 LL - 1.0 EX - 0.3 EY
7) 1.2 DL + 1.0 LL + 0.3 EX +1.0 EY
8) 1.2 DL + 1.0 LL + 0.3 EX -1.0 EY
9) 1.2 DL + 1.0 LL - 0.3 EX +1.0 EY
10) 1.2 DL + 1.0 LL - 0.3 EX -1.0 EY
11) 0.9 DL + 1.0 EX + 0.3 EY
12) 0.9 DL + 1.0 EX - 0.3 EY
13) 0.9 DL - 1.0 EX + 0.3 EY
14) 0.9 DL - 1.0 EX - 0.3 EY
15) 0.9 DL + 0.3 EX +1.0 EY
16) 0.9 DL + 0.3 EX -1.0 EY
17) 0.9 DL - 0.3 EX +1.0 EY
18) 0.9 DL - 0.3 EX -1.0 EY

- Kinerja Batas Layan (Δ_s) dan Kinerja Batas Ultimit (Δ_M)

Tabel 2 Kontrol simpangan antar tingkat Δs

Lantai	*hi* (m)	Δs (mm)	Simpangan Δs antar tingkat (mm)	Syarat Simpangan Δs (mm)	Ket
Lantai Atap	3,6	2.653	1.7267	30	OK
Lantai 1	3,6	0.956	0.9566	30	OK

Tabel 3 Kontrol simpangan antar tingkat Δ_M

Lantai	*hi* (m)	Syarat Simpangan Δs (mm)	Simpangan Δ_M antar tingkat (mm)	Syarat simpangan Δ_M (mm)	Ket
Lantai Atap	3,6	2.653	6,5005	72	OK
Lantai 1	3,6	0.956	2,3437	72	OK

Statical Pushover Analysis

Quake analysis were conducted on previous chapter by means of responsive spectrum where the on/off load and quake is analyzed linearly. Based on first running result, ratio among capacity with necessity on frame is found and give result that whether the structure is safe or not. The structure were then provided quake load with pushover nonlinear statics. All load is set up with non linear analysis (gravity load and pushover). The second running result in structure manner to inelasticity condition. The end result is given a base shear to produce the movement of its structure. The value will be described in a capacity curve form that represent of structure manner in lateral movement to load (demand) that provided. In addition to that, pushover analysis can perform structure elements that suffer a failure visually.

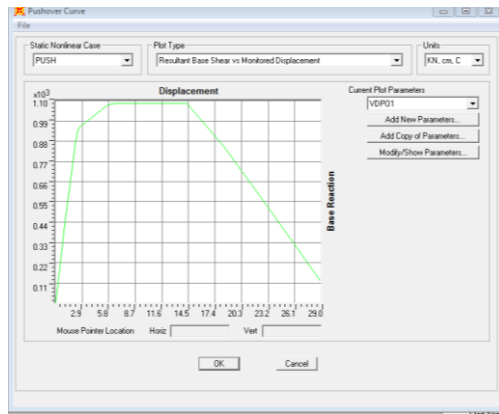



Figure 5. Pushover Capacity Curve

Step	Displacemer	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	mm	Tonf									
0	5.077E-12	0.0000	170	0	0	0	0	0	0	0	170
1	10.835776	46.0925	169	1	0	0	0	0	0	0	170
2	21.618136	89.5126	128	42	0	0	0	0	0	0	170
3	24.096284	95.1456	115	55	0	0	0	0	0	0	170
4	25.694746	97.1863	107	63	0	0	0	0	0	0	170
5	55.971886	109.5731	100	70	0	0	0	0	0	0	170
6	57.420146	109.8643	99	71	0	0	0	0	0	0	170
7	62.345937	110.3691	98	52	20	0	0	0	0	0	170
8	65.800075	110.6023	97	46	27	0	0	0	0	0	170
9	70.545728	110.7638	96	46	28	0	0	0	0	0	170
10	110.54572	110.7687	96	40	6	28	0	0	0	0	170
11	140.44542	110.7723	96	40	1	5	21	7	0	0	170
12	141.93624	110.5598	96	40	1	5	16	12	0	0	170
13	143.51906	110.1941	96	40	0	6	8	20	0	0	170
14	184.36552	86.4876	96	40	0	0	2	32	0	0	170
15	237.24537	49.2281	96	40	0	0	0	34	0	0	170
16	278.22651	20.0986	96	40	0	0	0	34	0	0	170
17	289.52375	12.0685	96	40	0	0	0	8	26	0	170
18	289.52376	12.0685	96	40	0	0	0	8	0	26	170

Tabel 4. Table of Pushover analysis results

Performance Point

1. Spectrum Capacity Methode (ATC-40)

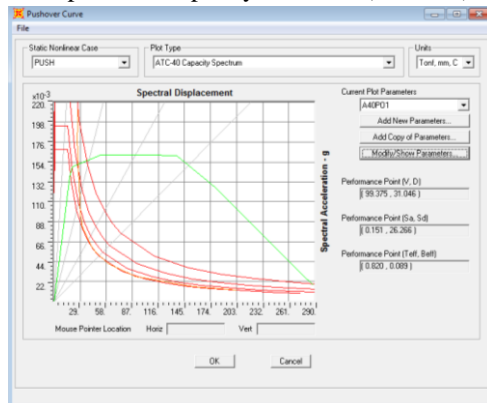



Figure 6 Performance point on the capacity curve

It could be seen on figure 6 that performance point is reached to turnover 70,447mm and movement of 110,801 tons.

1. Displacement Coefficient Method (FEMA 356)

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2.\pi}\right)^2 .g$$

2. An Improved Displacement Coefficient Method (FEMA 440)

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2.\pi}\right)^2 .g$$

3. Ultimate Limit Performance according to SNI 03-1726-2002 based on structure analysis result of maximum roof turnover X direction = 0,026 m

ultimate conjunction that occurs: ς.X

Where for orderly building, the score of:

ς = 0,7R

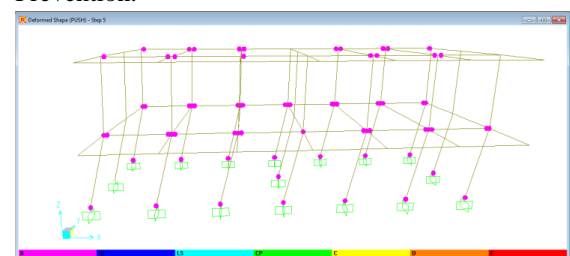
ς = 0,7 x 3,5 = 2,45

Thus, ultimate conjunction of X way = 0,026 x 2,45 = 0,064m

4. Point of Performance Evaluation Result

Table 5. Summary of Performance point

Methode	Performance Point (m)
Spectrum Capacity Methode	0,031
Displacement Coefficient Method (FEMA 356)	0,127
An Improved Displacement Coefficient Method (FEMA 440)	0,127
Ultimate Limit Performance according to SNI 03-1726-2002	0,064

It can be concluded that most maximum displacement target is 0,127 m (FEMA 356, FEMA 440). It concluded that when maximum displacement target occurs, the structure were at LS-CP performance condition which namely have Life Safety performance that approach to Collapse Prevention.

D. Assesment of Structure Performance Level

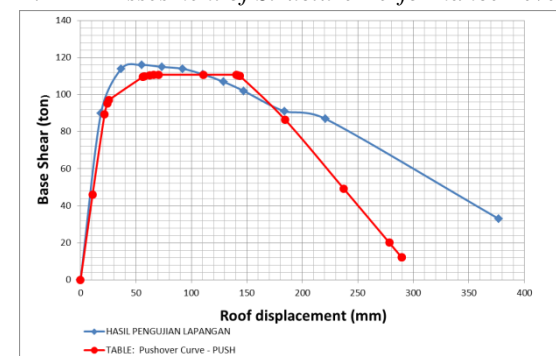



Figure7 Comparison Pushover Capacity curve with the field testing result

First Condition – Elastics

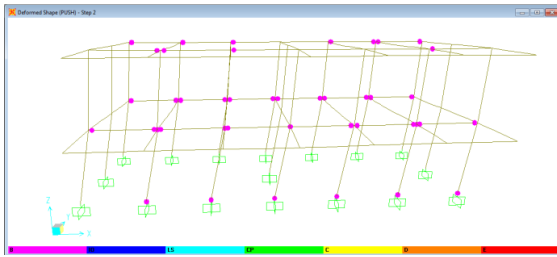



Figure 8. Scheme of plastic hinges distribution in the first condition (step 2)

Based on pushover analysis results on figure 8 is proven that plastics joint beginning to happen to most of top beam and column, the building is include B-IO category (Operational Level towards Immediate Occupancy Level) which means that were in medium application level and suffers displacement of 21,61 mm with baseshear of 89,51 tons. Based on FEMA 356 the condition shows an indicator that the building have no alteration permanently, in this case the building is in elastic condition. The structure still have a rigid and suffers light damage namely hair crack on column, beam and partial walls. Similar displacement alteration on field test result namely 18,39 mm with 90 tons baseshears could be seen on figure 6.3 where the structure has also have similar damage namely hair crack on column and the column have no major alteration. Based on fact above it can be concluded that pushover static analysis result in structure performance description that approach with field test condition by the displacement percentage value differences of 85,1% and base shear of 99,45%.

Pushover analysis result on second condition (step 5) show in figure 9 that plastic joint is occuring at top of beam and most of the base column, the building is still in B-IO category (Operational Level towards Immediate Occupancy Level) where it means posing at medium application but have an elasticity by having displacement of 55,97 mm with base shear 109,57 tons. The building structure have no permanent deviation but only suffers minor damage namely hair crack at column, beam and partition wall. Along with displacement alteration of field testing results of 36,78 mm with base shear 114 tons can be seen in figure 9 the structure has also suffered the same damage namely hair crack to column, beam and partition wall. The column has not also suffered big deviation. It can be concluded that pushover static analysis give result of structure performances description that approaching with field testing condition by displacement percentage score of 65,72% and base shear 96,11%.

Second Condition – Ultimate

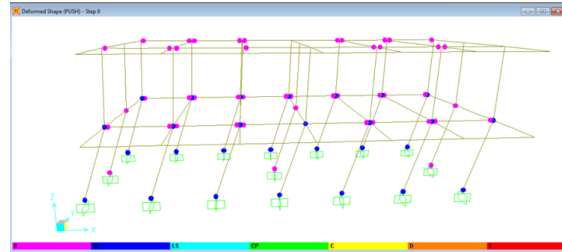



Figure 9. Scheme of plastic hinges distribution in the second condition (step 5)

Third Condition – Plastic

Figure 10. Scheme of plastic hinges distribution in the third condition (step 9)

Pushover analysis result on third condition (Step 9) in Figure 10 shows that plastic joint are suffers through top of beam and column, the building consist of IO – LS category (Immediate Occupancy Level towards Life Safety) which means the building suffering the damage but the structure remains stabil, the damage remain controlled and under safe level to be resided by having a displacement of 70,54 mm with base shear of 110,76 tons. The structure still have a rigidity and suffers only mild damage namely hair crack on column, beam and partition wall, a little spelling in few column and crack to several column joint. With field testing displacement alteration result namely 73,55mm with 115 tons baseshear could be seen in figure 6.7 prove that a few column had suffered huge damage which is marked with transparent crack. Based on that it could be concluded that pushover static analysis result in light different performance structure description with building physical damage with field test condition by displacement percentage value of 95,9% and base shear 96,31%.

Fourth Condition - Structure Stability

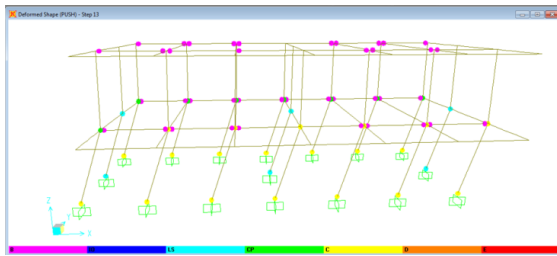



Figure 11. Scheme of plastic hinges distribution in the fourth condition (step 13)

In figure 11 pushover analysis result on fourth condition (step 13) shows that plastic joint run in through top of beam and column, the building had already experiencing structure stability where its ability in receiving the load is already subsided. Beginning LS-C cateogry (Life Safety Level towards Collaps) which means the building remain stand up and the damage or any other lose are still allowed with a few structure restoration. The structure had displacement of 143,52 mm with 110,19 tons baseshear, the permanent deviation, several column suffers serious damage which is marked by transparent crack. With 147,1 mm field testing displacement result and base shear 102 tons can be previewed in figure 6.9 a slight different in pushover analysis where the structure have permanent deviation with severe damage in few column that marked by slide crack. Looking at previous conditions, base shear that hold in lateral is keep power is reducing which means the structure has approaching collapsing point. Based on that statement, it could be concluded pushover static analysis can result in little different of performance structure description with physically damage by taking field test condition where part of column had severe joint damage with displacement percentage value differences of 97,57% and 92,57% baseshear.

Fifth Condition – Collapse

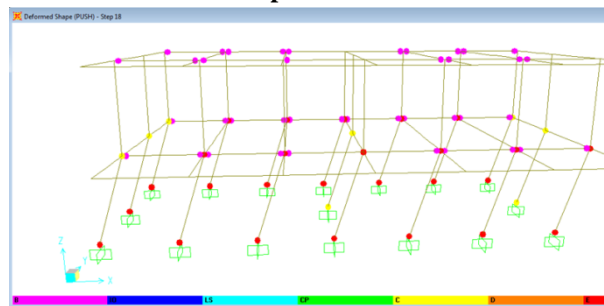



Figure 12. Scheme of plastic hinges distribution in the fifth condition (step 18)

Pushover analysis result in fifth condition (Step 18) in figure 12 shows that the structure has entering collapse category which means that most building have experiencing a collapse. The structure is falling down to displacement of 289,52 mm with 12,06 tons base shear. By taking a field test result of displacement alteration namely 376,75mm with 33 tons base shear can be seen in figure 6.9, the structure has also experiencing fall down on its ground floor, so as the building can no longer be used. Based on that it concluded that pushover static analysis result a performance structure description that nearing to field test condition by the displacement percentage value of 76,85% and 36,54% base shear.

CONCLUSION

1. From the analysis of field testing and compared with numerical static pushover analysis, vulnerability assessment can be carried out with the following results:
   - Elasticity analysis showed that the structure is able to support the weight of the load received, both gravity and seismic loads have been combined. However, the structure does not meet the requirements of beam-column relations.
   - Based on the results of numerical analysis pushover and field testing, it was found that damage from the first plastic hinge occurs at the base of the beam is then up to the base of the column.
   - Collapse occurs at 1st floor columns. The pattern collapse is not good, because it should collapse first occurred in the beam which is then followed by the collapse of the column.
   - From the studies that have been done, it can be concluded that the numerical analysis of the static pushover nonlininier produce structural behavior of each elastic conditions, the ultimate, the plastic, the stability of the structure to collapse under review closer to real conditions in the field, so that the analysis can be used as a reference as an assessment level of performance and behavior vulnerability of existing structures.
2. From the field tes result comparation with pushover analysis result, at the elastical condition displacement differences of 85.1% and 99.45% baseshear, at the ultimate condition displacement differences of 65.71% and 96.11% base shear, on the condition of plastic displacement differences of 95.9% and 96.31% base shear, on the structure stability displacement differences of 97.57% and 92.57% baseshear and the conditions collapsed

displacement differences of 76.85% and 36.54% base shear. Overall average of each differences obtained test results with the numerical analysis of 84.21%.

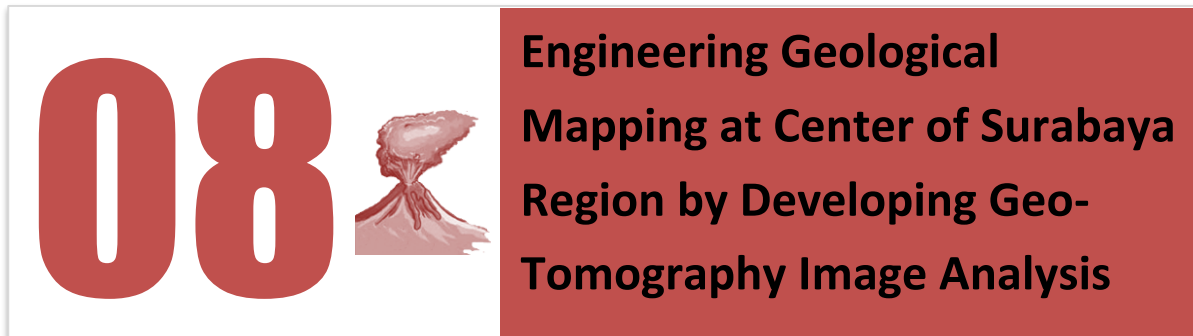
ADVICE

To assess the performance of the structure is more accurate, we need to study about some of the more detailed review of the factors - factors that affect the damage of a structure.

REFERENCES

[1] Briceño, S ; Onogawa, K. 2009. *Mengurangi Kerentanan Anak - Anak Sekolah terhadap Bahaya Gempa Bumi*. Pusat Pembangunan Wilayah Perserikatan Bangsa – Bangsa (UNCRD). Proyek Inisiatif Keselamatan Sekolah Terhadap Gempa Bumi (SESI)

[2] Dewobroto, W. 2005. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism, Unika Soegijapranata, Semarang, Indonesia.

Engineering Geological Mapping at Center of Surabaya Region by Developing Geo-Tomography Image Analysis

Trihanyndio Rendy Satrya[1], Ria Asih Aryani Soemitro[2], Mohammad Muntaha[3], Putu Tantri Kumala Sari[4], Dwa Desa Warnana[5], Amien Widodo[6]
1,2,3,4 Civil Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
5,6 Geophysical Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: rendy_star@ce.its.ac.id

Abstract - *General information regarding engineering geological map would give many advantages and easiness in designing of an infrastructure building plan. The research objective of this research is to create an engineering geological conditions by development of developing the interactive 3 D maps at center part of Surabaya area as a case study research location. The method used here, is done by collecting the soil data in several formats such as CPT (Cone Penetration Test);, SPT (Standard Penetration Test) and boring log test. Furthermore, all of those data would be processed by using statistical analysis for obtaining soil characteristics distribution and geo-tomography images. Based on the regional geological setting, center part of Surabaya city is located along Kendeng Zone which is dominated by alluvium soil (pebbles, gravels, sands, silts and locally muds). The overall evidence shows that the soil distribution is varied and mostly dominated by silty clay as surficial soil (0-20 m) and silty sand as sub-soil (20-30 m). In terms of engineering bedrock (measured from original ground level), center part is much deeper (-25 m) than the surrounding part (-18 m). It is commonly understandable that soil types and engineering bedrock has to be concerned in infrastructure assessment since the foundation types and its reinforcement strongly depend on these characteristics.*

Keywords: *engineering geological map; center of Surabaya region; geo-tomography image; engineering bedrock; soil type.*

1. Introduction

General information regarding engineering geological map would give many advantages and easiness in designing of an infrastructure building plan. In addition, the information availability would simplify the related corporation agency in designing the facility and utility needs on the ground. Soil and rock mechanics laboratory of civil engineering of ITS has experienced in soil investigation at both field and laboratory since 1960.

The research objective of this research is to create an engineering geological conditions by development of developing the interactive 3 D maps at center part of Surabaya area as a case study research location. The method used here, is done by collecting the soil data in several formats such as CPT (Cone Penetration Test); SPT (Standard Penetration Test) and boring log test. An additional soil investigation was performed in order to validate the soil investigation results in some certain locations. Furthermore, all of those data would be processed by using statistical analysis for obtaining soil characteristics distribution and geo-tomography images in x, y and z axes. The main research problems are the field soil investigation data analysis and soil layer zonification by using geo-tomography program.

Makalah ini sudah dipublikasikan pada Celebes International Conference on Earth Science (CICES) 2014

2. Literature study

2.1. Basic of soil data mapping

Soil data analysis is performed to observe the soil types at center part of Surabaya. From the visualization of soil layer mapping, the selection of sub-structure details and types could be simplified thoroughly. The sub-soil mapping is done by collecting either field or laboratory data which then stored in database for processing the 3-D visualization images. [3].

Geo-database is optimized for storing the whole data that is imported into geo-tomography program. The soil data information, includes both field data investigation (CPT and N-SPT test) and laboratory data (soil grain size, atterberg limit and soil consistency) as engineering geological condition. [3].

The investigated location would be compared with the additional soil investigation to validate the soil characteristics. The geo-tomography program application, which is combined with database program, is utilized to visualize the soil condition even at different location observed.

2.2. N-SPT test

SPT (standard penetration test) test is observed at certain depth of sub-soil. SPT is performed to determine the insitu consistency level and soil hardness. For instance, the N-SPT value could be correlated with soil consistency, soil shear strength, consolidation characteristics, relative density, soil bearing capacity and soil settlement. The correlation between N-SPT value; relative density and internal angle friction is shown in Table 2.1. below.

Table 2.1. Relative density and soil characteristics based on N SPT value (Terzaghi dan Peck) [5]

Sand		Clay	
N SPT value	Relative Density	N SPT value	Consistency
0 – 4	Very Loose	<2	Very Soft
4 – 10	Loose	2 – 4	Soft
10 – 30	Medium	4 – 8	Medium
30 – 50	Dense	8 – 15	Stiff
>50	Very Dense	15 – 30	Very Stiff
		>30	Hard

2.3. CPT test

The results that could be obtained from CPT tests are soil identification, soil stratification, soil classification and soil shear strength. The test results are in the form of qc (conus pressure), cleef (friction pressure) dan FR (friction ratio) that could be correlated with soil consistency, soil shear strength (cu), consolidation parameter, relative density value (Dr), soil elasticity, soil bearing capacity and soil settlement. The related qc value is also used as a correlation based on Begemann, 1965, that could be seen in Table 2.2. and 2.3.

Table 2.2. Relationship between consistency and conus pressure (Begemann, 1965)

Consistency	Conus Penetration Q_c (kg/cm^2)	Undrained Cohesion (t/m^2)
Very soft	< 2.5	< 1.25
Soft	2.5 – 5.0	1.25 – 2.50
Medium stiff	5.0 – 10.0	2.50 – 5.00
Stiff	10.0 – 20.0	5.00 – 10.00
Very stiff	20.0 – 40.0	10.00 – 20.00
Hard	>40.0	>20.00

Table 2.3. Relationship between density, relative density, SPT value, qc and internal angle friction, ϕ (Begemann, 1965)

State of Density	Relative Density (D_r)	N value	Conus, q_c (kg/cm^2)	Internal angle friction, ϕ (°)
Very loose	< 0.2	< 4	< 20	< 30
Loose	0.2– 0.4	4–10	20 – 40	30 – 35
Medium dense	0.4– 0.6	10–30	40 – 120	35 – 40
Dense	0.6– 0.8	30–50	120–200	40 – 45
Very dense	0.8– 1.0	> 50	> 200	> 45

3. Research methodology

The time period of this research is performed in a step that includes collection of field soil investigation data. The research flowchart could be seen in **Figure 3.1.**

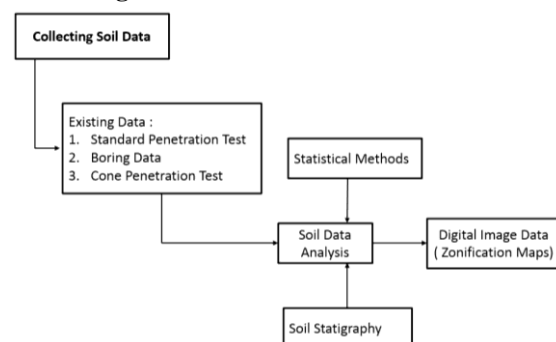



Figure 3.1. Research Flowchart

3.1. Preliminary step

For preliminary step, the field soil investigation data is collected from the soil and rock mechanics laboratory (in the form of bore test, Standard Penetration Test, Cone Penetration Test as

engineering geological condition) which was performed in the center part of Surabaya.

3.2. Soil data analysis
Soil data analysis is observed by using statistical concept that optimizing the varians coefficient (CV) and confidence interval (CI). The soil layer statigraphy and soil hardness then could be analysed from the statistical results.

3.3. Zonification map
The soil stratigraphy and soil hardness then could be processed with numerical software or geo-tomography program to be 3-D objects/image in 3 axes; x, y and z axes.

4. Result and discussion

The preliminary step is collecting the engineering geological condition data from the soil investigation that were performed by the soil and rock mechanics laboratory in center part of Surabaya. The soil investigation data, starting from 1982 until 2010 involved several corporation agencies, design consultants and contractors. The required soil characteristics are derived from the shallow bore, deep bore, SPT test and CPT test.

4.1. Center part of Surabaya

Figure 4.1. Area of center part of Surabaya

The districts which are includes in center part of Surabaya: Genteng district; Bubutan district; Simokerto district; Tegalsari district. From Surabaya area map, the zonification area could be created by using geo-tomography method. **Figure 4.1.** below is to describe the Surabaya area and its districts.

4.2. Geological map of Surabaya

Based on the regional geological setting, center part of Surabaya city is located along Kendeng Zone which is dominated by alluvium soil (pebbles, gravels, sands, silts and locally muds). The geological map of Surabaya could be seen in **Figure 4.2.**

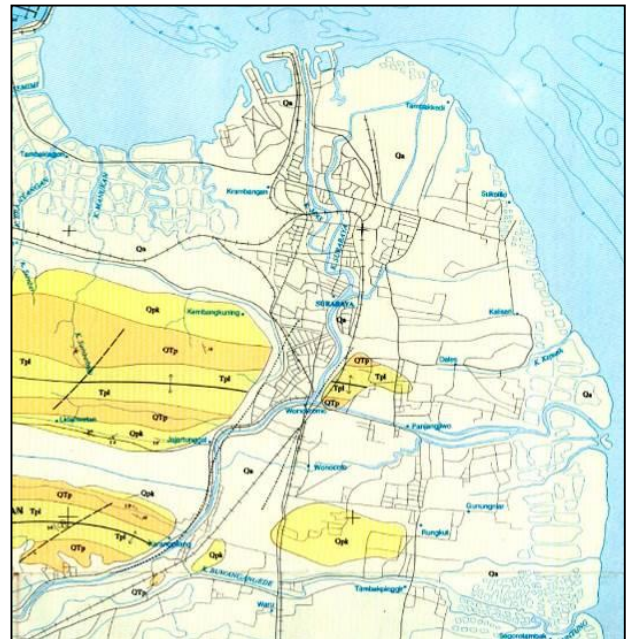



Figure 4.2. Geological Map of Surabaya (Supandjono, J.B. et al, 1992) [7]

4.3. Soil classification data (shallow and deep bores)
Shallow and deep bore are observed to investigate the soil types that spread in the sub-soil at center part of Surabaya. The soil types from field investigation should also be validated with laboratory investigation, as the soil types could be determined from both visual soil description (field investigation) and soil grain size analysis (laboratory investigation).
The utilization of these tests is to describe the both soil types and its thickness. The overall evidence shows that the soil distribution is varied and mostly dominated by silty clay as surficial soil (0-20 m) and silty sand as sub-soil (20-30 m). In terms of engineering bedrock (measured from original ground level), center part is much deeper (-25 m) than the surrounding part (-18 m).

4.4. Soil engineering bedrock layer (CPT test)

The Cone Penetration Test is observed to better understand the soil types and soil engineering bedrock layer. The soil characteristics derived from CPT test is mainly used to determine the soil bearing capacity. The soil bearing capacity is derived from point bearing strength (qc, conus pressure) and friction bearing strength (cl, cleef pressure).

The soil type information could not be observed directly from CPT test results, since there is lack of soil sampling activity in CPT tets. The soil types could be determined by correlation between friction ratio percentage value (FR) and conus pressure (qc). The friction ratio percentage value is the comparation ratio between cleef pressure value (friction) and conus value in terms of percentage.

4.5. Soil SPT value (SPT test)

Standard Penetration Test is performed to observe the soil hardness that investigated from number of a hammer blows to the soil along 30 cm in depth (15 cm x 2). The greater number of blows shows the hardness of the soil. The soil hardness and soil compressibility, which could be correlated from N SPT value, are also could be observed to design the sub-structure and tunneling system.

4.6. Geo-tomography mapping

The mapping system is developed by using numerical analysis to summarize the soil types; soil hardness and soil engineering bed rock layer depth.

4.6.1. Geo-tomography map of surface elevation and area usage of center part of Surabaya

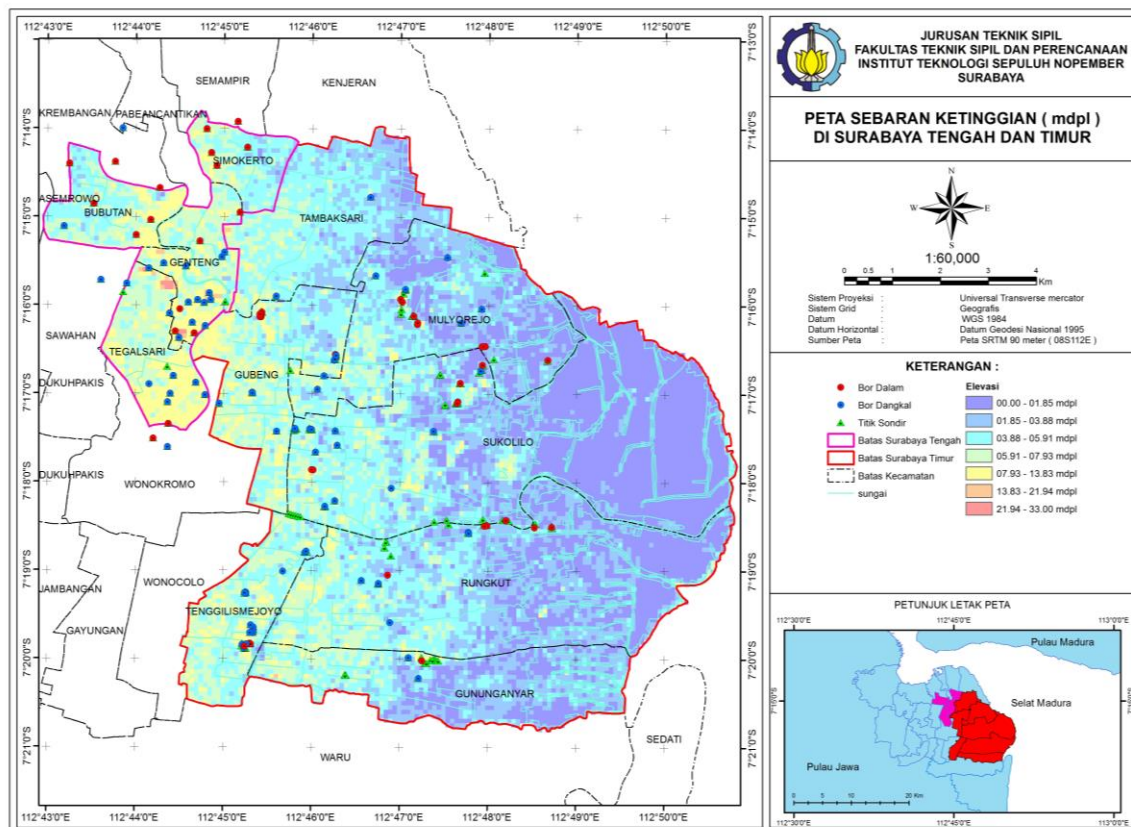



Figure 4.3. Soil surface elevation depth at center part of Surabaya [6]

Figure 4.4. Area usage at center part of Surabaya [6]

4.6.2. Geo-tomography map of soil types

Two cross sections are developed to better understand the detail of soil layer types at center part of Surabaya, soil types distribution at center part of Surabaya could be seen in **Figure 4.5.** and **Figure 4.6.**

Figure 4.5. Soil types distribution at center part of Surabaya (cross section I)

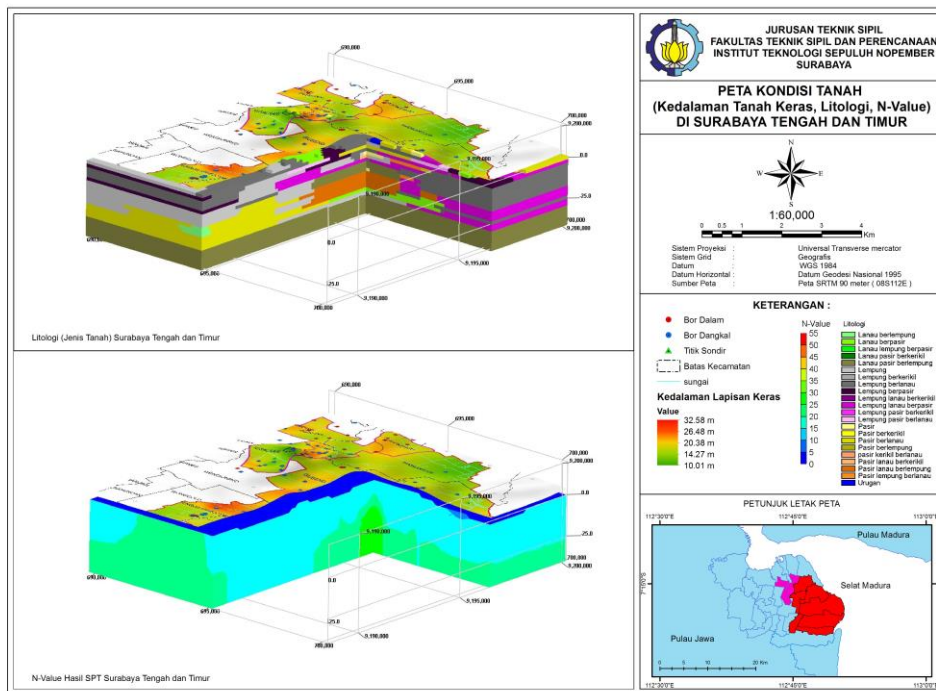



Figure 4.6. Soil types distribution at center part of Surabaya (cross section II)

4.6.3. Geo-tomography map of soil engineering bedrock layer of center part of Surabaya

Soil engineering bedrock layer depth at the center part of Surabaya is developed by CPT test analysis, which is determined by analysing the maximum conus pressure value 250 kg/cm^2. The soil engineering bedrock layer at center part of Surabaya could be seen in **Figure 4.7.**

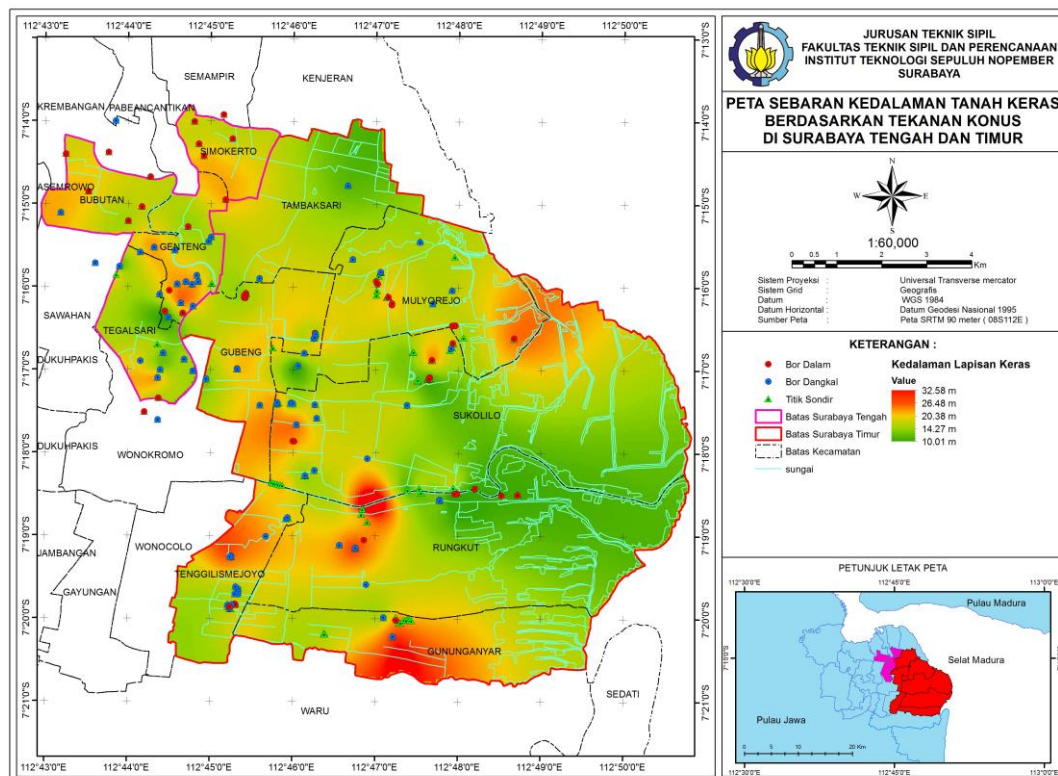



Figure 4.7. Soil engineering bedrock layer depth at center part of Surabaya

5. Summary

The SPT value zonification in geo-tomography map is developed in order to observe the soil hardness at center part of Surabaya. The soil hardness information is used to classify the compressible soil potential, which is important to be considered when designing the preliminary design of structural building or tunneling system.

The soil type that is also developed from geotomography map is applied for designing the sub-structure of bridge system and soil retaining wall since the soil type is the main factor of vertical and horizontal soil pressure determination. While the soil engineering bedrock layer depth is observed to determine the depth of deep foundation that is sufficient to retain the structural loads.

It is commonly understandable that soil types and engineering bedrock has to be concerned in infrastructure assessment since the foundation types and its reinforcement strongly depend on these characteristics.

Acknowledgements

This research is fully supported by research scheme funds of penelitian pendukung unggulan (BOPTN in year of 2013 and 2014) from collaboration between Directorate General of Higher Education Indonesia (DIKTI) and LPPM - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Indonesia.

References

[1] Bowles, J.E., 1986," **Analisis dan Desain Pondasi"**, Erlangga, Jakarta.

[2] Bowles, J.E., 1991, "**Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah**", Erlangga, Jakarta.

[3] Cavaleiro,V.M., Rodrigues-Carvalho., J.A ., Gomes.,L.F., 2006, **"Geotechnical mapping in the area of Covilha, Portugal (A methodology using GIS) "**, IAEG Paper.

[4] Das, B.M., 1998, "**Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis"**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

[5] Terzaghi, Karl dan Peck, R.B. 1993 "**Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa**", Penerbit Erlangga, Jakarta.

[6] Satrya, T.R., Soemitro R.A.A., Warnana D.D., Muntaha, M., Kumalasari, P.T., Widodo, A., 2013, "**Laporan Akhir Pemetaan Tanah Bawah Permukaan, Studi Kasus Surabaya Timur"**

[7] Supandjono J.B., Hasan K., Pamggabean H., Satria D. and Sukardi, 1992, **"Peta Geologi Lembar Surabaya and Sapulu, Jawa".**

VULNERABILITY TO EARTHQUAKE INDUCED SOIL LIQUEFACTION IN COASTAL AREA OF PACITAN CITY

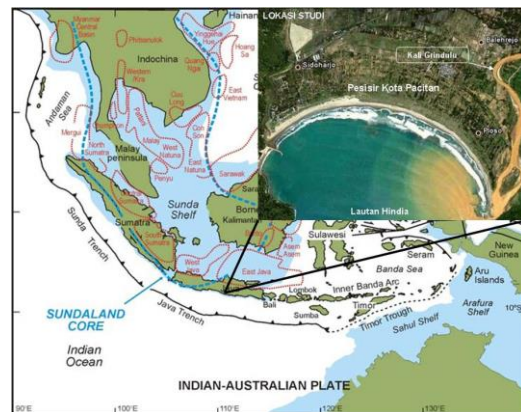
Wahyudi, Kriyo Sambodho, Dwi Febi Ariantini
Department of Ocean Engineering, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: wahyudictr@oe.its.ac.id

Abstrak - *Pacitan City is located at the southern part of East Java Province and faces directly to the earthquake source due to plates subduction between Indo-Australia and Eurasia plates. Southern part of this City is coastal resort area which is geologicaly consists of alluvial deposits that is still under compaction and some of the upper layers are consist of loose material. According to this condition, vulnerable to earthquake induced soil liquefaction of the study area has been analyzed. This paper presents the result of study on soil liquefaction in this area based on the soil properties from five soil borings with Standard Penetration Test, and 10 Cone Penetration Test. The bore log and grainsize analyses result reveal that this area is mainly composses by sandy silt to sand that is categorized as high soil liquefaction potential. Vulnerability to soil liquefaction of the study area has been identified by calculating safety factor which is a ratio between Cyclic Resistance Ratio (CRR) and Cyclic Stress Ratio (CSR). The CSR value was calculated from main earthquake parameters, and the CRR is determined by utilizing soil properties, including data from CPT. The result of the study shows that all locations of the soil boring and four locations of CPT in the study area are vulnerable to soil liquefaction*

Kata Kunci : *Pacitan, coastal, vulnerability, soil, liquefaction, earthquake.*

1. Pendahuluan

Kejadian gempabumi telah banyak menimbulkan bencana di wilayah Indonesia, antara lain di Flores 1992, Banyuwangi 1994, Aceh 2004, Bengulu 2005, Jogja 2006, Pangandaran 2007, Tasikmalaya 2009, dan Padang 2009. Gempabumi merupakan pemicu bencana yang memakan korban jiwa meninggal terbesar (95%) di Indonesia (EMDAT, 2008). Kondisi tersebut tidak lepas dari posisi kepulauan Indonesia yang merupakan bagian dan tempat bertemunya beberapa lempeng utama dunia, yaitu lempeng Eurasia di sebelah barat dan barat laut, India-Australia di selatan dan tenggara, Pasifik di timur, serta lempeng Pilipina dan lempeng Laut China Selatan di utara. Pertemuan beberapa lempeng tersebut mengakibatkan kondisi tektonik di Indonesia sangat komplek, dan menyebabkan Indonesia menjadi salah satu wilayah dengan jalur gempa paling aktif di dunia, termasuk wilayah studi pesisir Kota Pacitan (Gambar 1).

Pada saat terjadi gempabumi biasanya diikuti oleh fenomena alam yang membahayakan dan berpotensi menimbulkan bencana.

Gambar 1. Posisi daerah studi di pesisir kota Pacitan dalam kerangka tektonik Indonesia dari Hall (2003)

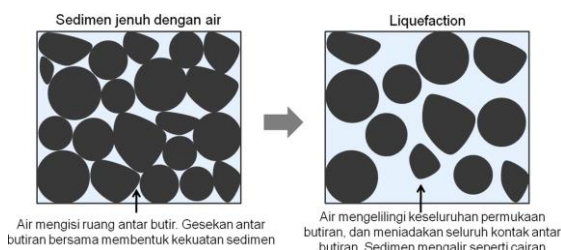
Fenomena alam yang dapat terjadi antara lain goncangan permukaan tanah (ground motion), soil liquefaction, gerakan tanah/tanah longsor, kebakaran, dan tsunami. Di banyak negara soil liquefaction ini telah mendatangkan kerugian yang sangat besar baik materi maupun jiwa. Seperti yang terjadi di Niigata, Jepang maupun di Alaska, USA (the Japanese Geotechnical Society, 1998).

Makalah ini sudah dipublikasikan pada Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan, 15 Desember 2011 X

Makalah ini menyampaikan hasil studi vulnerability area pesisir kota Pacitan terhadap bencana akibat soil liquefaction karena gempabumi. Vulnerability ditentukan berdasarkan potensi suatu lapisan sedimen untuk mengalami soil liquefaction berdasarkan magnitudo dan percepatan permukaan tanah maksimum dan properti sedimen.

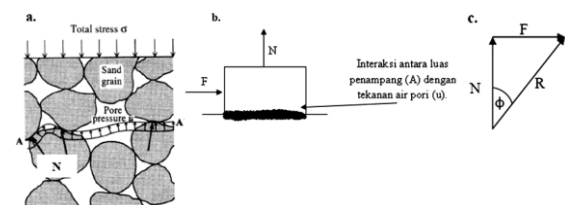
2. Dasar Teori

Fenomena *soil liquefaction* hanya dapat terjadi pada pasir jenuh air (Sr = 100%) dalam kondisi undrained dan ada pada beban siklik gempa yang bekerja. Dalam kondisi ini maka pasir akan kehilangan kekuatan mekaniknya, yang ditandai dengan hilangnya tegangan efektif tanah (σ'=0) dan naiknya tegangan air pori (*u*) hingga mencapai nilai tegangan total (σ). Dalam keadaan ini, perilaku pasir berubah menjadi "*Fluid-Viscous*" (Gambar 2).

Penelitian mengenai soil liquefaction dilakukan secara intensif setelah terjadi gempabumi di Niigata, Jepang tahun 1964 dan di Alaska, Amerika 1964. Gempa Niigata berkekuatan 7,3 Skala Ritcher (SR) dengan pusat gempa sekitar 56 km dari kota Niigata, percepatan permukaan tanah maksimum 0,16 kali percepatan gravitasi. Gempa tersebut menyebabkan terjadinya *sand boil*, yaitu air bercampur pasir mengalir melalui celah tanah yang mengakibatkan runtuhnya banyak bangunan di kota tersebut (Iwasaki, 1964; Seed dan Idriss, 1982). Gempa Alaska, 8,3 SR merusakkan jembatan yang berada sekitar 80 km sampai 120 km dari pusat gempa. Kerusakan berat saat gempabumi tersebut terjadi akibat adanya peristiwa *soil liquefaction*.

Gambar 2. Struktur tanah sebelum dan setelah liquefaction

Dalam analisa potensi *soil liquefaction* metode sederhana yang sering digunakan adalah berdasarkan data *Standard Penetration Test* (*SPT*) dan *Cone Penetration Test* (*CPT*). Stark dan Olson (1995) mengusulkan penggunaan data CPT untuk evaluasi potensi *soil liquefaction*. Mereka menyimpulkan bahwa nilai yang dihasilkan oleh CPT lebih baik dibandingkan dengan nilai N-SPT, hal ini disebabkan karena uji CPT lebih standard, mudah direproduksi dan murah.

Jefferies dan Been (2006) mendefinisikan *soil liquefaction* sebagai fenomena tanah kehilangan banyak kekuatan dan kekakuan untuk waktu yang singkat. Definisi yang lain diberikan oleh Sladen *et al*. (1985), yaitu fenomena yang menunjukkan bahwa massa tanah kehilangan kekuatan gesernya dalam persentase yang sangat besar. Hal ini terjadi ketika lapisan tanah dikenai beban monotik, siklik, maupun beban kejut dimana beban tersebut mengalir seperti sebuah cairan yang menyebabkan tegagan geser partikel tanah tersebut berkurang sehingga mengurangi kekuatan geser.

Secara umum *soil liquefaction* berhubungan dengan hilangnya kekuatan tanah pada keadaan jenuh air, atau dengan kata lain hilangnya sifat kohesi pada partikel tanah yang diakibatkan oleh naiknya tekanan pori air selama pembebanan dinamik. Secara singkat *soil liquefaction* diartikan sebagai sebuah proses perubahan bentuk dari padat ke bentuk cair sebagai konsekuensi dari naiknya tekanan pori tanah dan berkurangnya tegangan efektif tanah. The Japanese Geotechnical Society (1998) menguraikan fenomena *soil liquefactio*n denganb lebih mudah dipahami seperti pada Gambar 3, serta pers. (1) sampai pers. (7).

Gambar 3. Ilustrasi sederhana uraian fenomena *soil liquefaction*: a. Skema gaya yang bekerja; b. Interaksi gaya yang bekerja; c. Vektor gaya yang bekerja.

Gambar 3 menunjukkan bahwa, hubungan antara gaya normal (N dalam Newton), gaya geser (F dalam Newton) dan sudut geser (□) dapat diekspresikan dalam pers. (1).

$$\tan \phi = F/N \qquad (1)$$

Dengan memperhitungkan faktor tekanan air (u dalam N/m^2), maka pers. (1) dapat diekspresikan dengan pers. (2).

$$F = (N - Au) \tan \phi \qquad (2)$$

dengan A adalah luasan efektif dalam m^2, jika kedua ruas pada pers. (2) dibagi dengan A, maka didapatkan pers. (3).

F/A = [(N/A – u)] tan ϕ (3)

F/A = τ (4a)

N/A = σ (4b)

Dengan τ tegangan geser, ϕ sudut geser, dan σ adalah tegangan total (N/m^2). Subsitusi pers. (4a) dan pers. (4b) kedalam pers. (3) menghasilkan pers. (5).

ϕ = (σ – u) tan Φ (5)

Tegangan total adalah fungsi dari tegangan efektif dan tekanan air pori, dan diekspresikan seperti pers. (6).

σ = σ' + u (6)

Sehingga pers. (5) dapat dituliskan sebagai pers. (7).

ϕ = σ' tan Φ (7)

Berdasarkan pers. (5) dan pers. (7) dapat diketahui bahwa *soil liquefaction* terjadi apabila tekanan air pori naik hingga mendekati harga tegangan total. Hal ini akan menyebabkan hilangnya tegangan efektif (σ' = 0) sehingga tanah cenderung bersifat seperti benda cair.

Faktor yang Mempengaruhi dan Dampak Soil Liquefaction

Chassagneux *et al*. (1998) menyebutkan bahwa ada dua faktor yang mempengaruhi terjadinya soil liquefaction yaitu faktor permanen dan pemicu. Faktor permanen berasal dari karakteristik serta parameter tanah itu sendiri. Tanah *pulvurent/quicksand* rentan mengalami *fluidization* apabila tanah tersebut terkena tekanan yang disebabkan oleh peningkatan tekanan pori tanah akibat bertambah atau berkurangnya kandungan air dalam tanah tersebut. Sedangkan faktor pemicu berasal dari gelombang seismik saat gempabumi dan beban siklis oleh gelombang laut pada suatu daerah tertentu. Energy yang ditimbulkan dapat menyebabkan tanah kehilangan kohesivitas yang membuat tanah mengalami fenomena *soil liquefaction*.

Hilangnya kohesifitas tanah menyebabkan hilangnya daya dukung tanah, yang akhirnya menyebabkan penurunan tanah. Penurunan tanah terjadi karena pembebanan overburden pada saat terjadi soil liquefaction. Jika hal ini terjadi maka soil liquefaction akan berdampak merusak struktur yang berdiri di atasnya.

Evaluasi Potensi Soil Liquefaction

Oka (1995) mengusulkan metoda sederhana untuk evaluasi *soil liquefaction*, yaitu dengan melihat ukuran butir sedimen. Sedimen/tanah mudah mengalami *liquefaction* mempunyai butiran pasir halus, sedangkan pada butiran kasar (gravel) dan butiran halus (clay) sulit untuk terjadi *liquefaction*. Lapisan dengan ukuran butir seragam dan mempunyai D_{50} antara 0,20 mm dan 0,40 mm adalah zona sensitif terhadap *liquefaction* (Gambar 4).

Youd *et al*. (2001) mengembangkan *simplified procedure* yang diusulkan oleh Seed and Idriss (1971) yang difokuskan pada analisis ketahanan tanah terhadap bahaya *liquefaction* (CRR). Pada dasarnya analisa *soil liquefaction* adalah mencari dua parameter utama yaitu *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang merupakan tegangan siklik yang terjadi akibat gempa dibagi dengan tegangan efektif, dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang merupakan ketahanan tanah untuk menahan liquefaction. Dari perbandingan CRR dan CSR didapatkan angka keamanan, jika angka keamanan lebih kecil dari satu maka terjadi *soil liquefaction*, dan jika lebih besar atau sama dengan satu maka tidak terjadi *soil liquefaction*.

Seed dan Idriss (1971) mengusulkan formulasi untuk penghitungan CSR seperti ditunjukkan pada pers. (8).

$$CSR = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}}\right) = 0.65\left(\frac{a_{max}}{g}\right)\left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) r_d \quad (8)$$

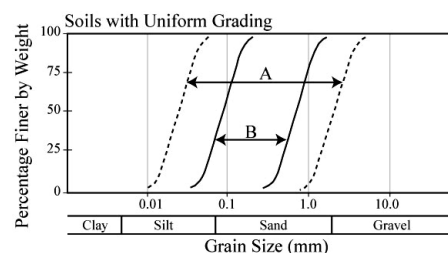
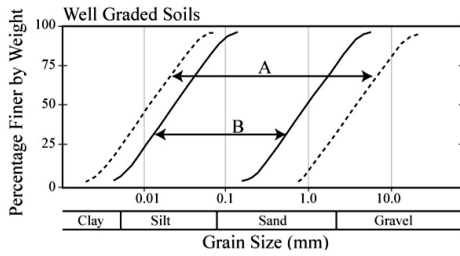
dengan

a_{max} : percepatan horizontal maximum akibat gempa

g : percepatan gravitasi

σ_{vo} : tegangan total *vertical overburden*

σ'_{vo} : tegangan efektif *vertical overburden*

r_d : koefisien reduksi tegangan

Gambar 4. Hubungan ukuran butir dengan potensi terjadinya *soil liquefaction* yang diusulkan oleh Oka (1995); A: tanah berpotensi mengalami, B: sangat bisa mengalami *liquefaction*

Tegangan total tanah (σ) dapat ditentukan dengan pers. (9) berikut.

$$\sigma = H\gamma_w + (H_A + H)\gamma_{sat} \quad (9)$$

dengan

γ_w : berat volume air (9,8 kN/m^3)

γ_{sat} : berat volume tanah jenuh air

H : tinggi muka air diukur dari permukaan tanah

H_A : jarak titik yang ditinjau dengan muka air

Berat volume tanah jenuh air sendiri dihitung dengan pers. (10).

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{(1 + e)} \quad (10)$$

dengan

G_s : berat spesifik butiran

e : *void ratio* (angka pori)

$$\sigma' = \sigma - u \quad (11)$$

dengan u adalah tekanan pori air tanah, yang dihitung dengan persamaan:

$$u = H_A \,\square_w \quad (12)$$

Percepatan horizontal maksimum akibat gempa (a_{max}) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Log\ PHGA = -1.02 + 0.249M_w - \log r - 0.0255r \quad (13)$$

Notasi r adalah jarak episentrum (km) dan M_w adalah magnitude gempa. Koefisien reduksi kedalaman (r_d) dihitung dengan persamaan Liao dan Whitmann (1986).

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \quad \text{(untuk } z \le 9.15 \text{ m)} \quad (14a)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad \text{(untuk } 9.15 < z \le 23 \text{ m)} \quad (14b)$$

dengan

r_d : faktor reduksi redaman

z : kedalaman (m)

Nilai CRR dihitung dengan pers. (15), (16), dan (17).

$$CRR = 0.058\exp[0.02q_{c1N}] \quad (15)$$

$$q_{c1N} = C_Q\,(q_c/P_a) \quad (16)$$

$$C_Q = (P_a/\sigma'_{vo})^n \quad (17)$$

dengan

C_Q : faktor normalisasi utuk *cone penetration resistance*

P_a : 1 atm untuk tekanan yang sama yang digunakan oleh σ'_{vo}

n : eksponen untuk berbagai macam tipe tanah

q_c : ketahanan *cone penetration* di lapangan yang diukur pada ujungnya.

3. Metodologi

Studi ini dilakukan dengan beberapa tahapan, antara lain, persiapan dengan kajian literatur, pengumpulan data sekunder dan data primer melalui survei lapangan dengan pemboran tanah dan test sondir (CPT), test laboratorium, dan analisa hasil. Data sekunder terdiri dari peta geologi, peta gempa dan data percepatan permukaan tanah. Sedangkan data primer diperoleh melalui pemboran tanah di lokasi area studi dan test tanah di laboratorium.

Berdasarkan data yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisa dan perhitungan untuk menentukan tegangan total dan tegangan efektif dan parameter yang lain. Semua parameter yang didapatkan digunakan untuk menghitung CSR. Nilai tekanan konus yang didapatkan dari sondir test digunakan untuk menghitung nilai CRR. Dari perbandingan CRR dan CSR didapatkan nilai Safety Factor (SF), jika SF lebih kecil dari satu maka terjadi soil liquefaction, dan jika lebih besar atau sama dengan satu, maka tidak terjadi soil liquefaction. Vulnerability terhadap terjadinya soil liquefaction hanya didasarkan atas nilai SF.

4. Kondisi Daerah Studi

Daerah studi merupakan wilayah pesisir yang terletak di bagian selatan kota Pacitan, menempati dataran banjir Sungai Grindulu, mempunyai topografi datar sampai sangat landai dengan ketinggian 0 sampai kurang dari 10 m dari muka air laut. Litologi daerah studi tersusun oleh endapan aluvial, terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, serta lumpur (Samoedra *et al.*, 1992). Endapan aluvial pada umumnya merupakan sedimen muda yang belum kompak cenderung lepas dan kaya akan air tanah, sehingga vulnerable terhadap soil liquefaction.

Data kegempaan di daerah pesisir Pacitan diperoleh dari Peta Kejadian Gempabumi tahun 1964 sampai 2006 dari USGS (2010) serta Peta Percepatan Permukaan yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa kejadian gempa yang pernah ada di daerah studi memberikan percepatan permukaan paling besar adalah 0,36 m/dt^2 dengan magnitudo 4,7, dan percepatan permukaan 0.89 m/s^2 dengan magnitudo 5,1 (Tabel 1).

Tabel 1. Kejadian gempa tahun 2004-2006

Waktu	Magnitudo (SR)	Jarak Episentrum
2004	4,9	101
2006	3.9	76
2006	4.5	81
2006	4.7	31
2006	5.1	16

5. Hasil dan Pembahasan

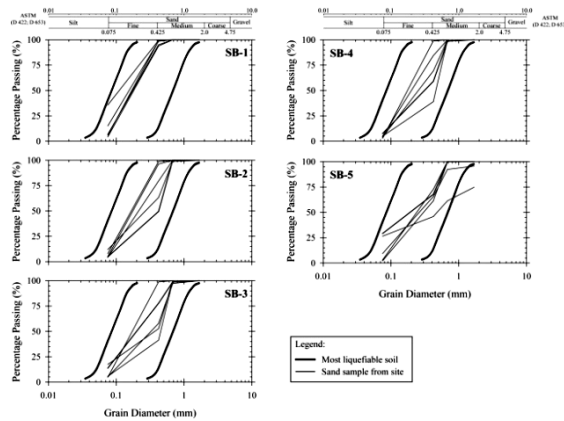
5.1 Analisa Vulnerability Soil Liquefaction Berdasarkan Ukuran Butir

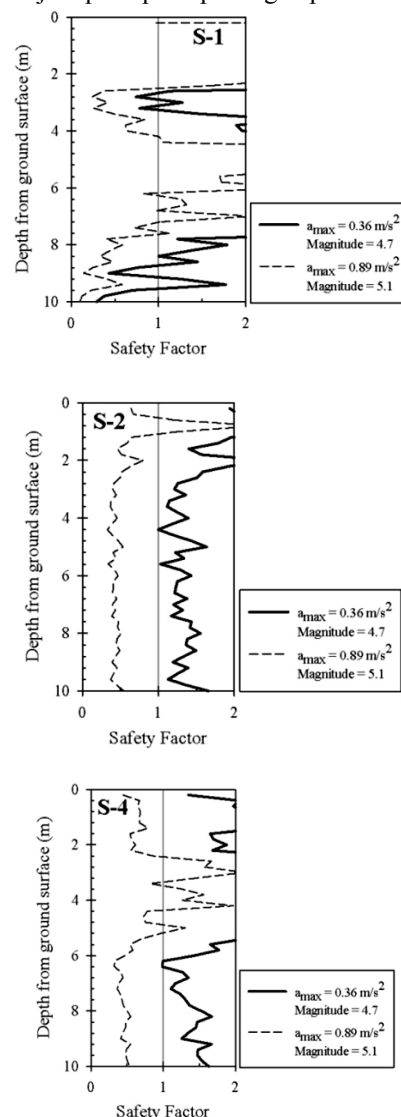
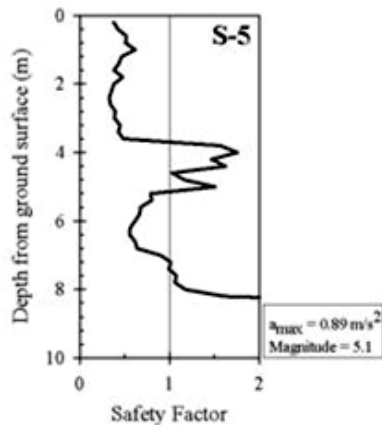
Hasil analisa butiran terhadap sampel dari lapisan sedimen pada kedalaman 2 sampai 10 m yang diambil dari lima titik pemboran (SB1 sampai SB 5) yang telah diplotkan kedalam grafik Oka (1995) menunjukkan bahwa seluruh lokasi titik pemboran vulnerabel terhadap terjadinya soil liquefaction (Gambar 5).

5.2 Analisa Vulnerability Soil Liquefaction Berdasarkan Percepatan Gempa, Magnitudo, dan Data CPT

Hasil perhitungan data gempa menunjukkan bahwa, percepatan permukaan tanah maksimum yang terjadi di daerah studi adalah 0,36 m/s^2 dengan magnitudo 4,7 dan 0,89 m/s^2 dengan magnitudo 5,1 yang semuanya terjadi pada Nopember 2006 (Tabel 2).

Tabel 2. Data gempa di daerah studi

No	Jarak = r Episentrum (km)	Magnitudo (SR)	PHGA (m/s^2)	log PHGA
1	101	4.9	0.080	-2.06
2	76	3.9	0.070	-2.13
3	81	4.5	0.090	-2.02
4	31	4.7	0.360	-1.43
5	16	5.1	0.890	-1.04

Gambar 5. Hasil analisa butiran sampel tanah dari studi area yang diplot dalam grafik liquefaction potential dari Oka (1995)

Hasil perhitungan nilai SF (Gambar 6) menunjukkan bahwa titik Sondir-1, Sondir-2, Sondir-4 dan Sondir-5 yang berpotensi terjadi *Soil liquefaction* dengan nilai SF < 1. Pada umumnya semua terjadi pada percepatan gempa 0.89 m/s^2.

Gambar 6. Nilai SF untuk titik sondir yang berpotensi mengalami soil liquefaction

6. Kesimpulan

Semua lokasi titik pemboran tanah (SB 1 sampai SB 5) vulnerable terhadap terjadinya soil liquefaction. Ini ditunjukkan oleh hasil analisa butiran dari sampel yang diambil dari semua titik pemboran tanah, yang masuk dalam kategori sangat berpotensi mengalami soil liquefaction.

Berdasarkan hasil CPT, daerah studi berpotensi terjadi soil liquefaction pada titik Sondir-1, titik Sondir-2, titik Sondir-4 dan titik Sondir-5. Pada titik Sondir-1, titik Sondir-2 dan titik Sondir-4 Soil liquefaction akan terjadi pada a_{max} 0.36 m/s^2 dengan magnitudo 4.7 dan pada a_{max} 0.89 m/s^2 dengan magnitudo 5.1. Sedangkan pada titik Sondir-5 hanya terjadi pada a_{max} 0.89 m/s^2 dengan magnitudo 5.1.

Kajian lebih mendalam perlu dilakukan di daerah studi sebagai dasar langkah mitigasi bencana akibat soil liquefaction oleh gempabumi, mengingat pesisir kota Pacitan merupakan daerah wisata yang berpotensi untuk berkembang pesat termasuk perkembangan permukiman.

Referensi

Castro, *et al*. (1988): Liquefaction Evaluation Procedure: Closure to Discussion. *Journal of Geotechnical Engineering*, 114, 2, 251-259.

Chassagneux *et al*. (1998): Methodology for Liquefaction Hazard Studies: New Tool andRecent Applications. BRGM, Thematic Centre for Natural Geological Risks, PII: S 0267-7261 (98) 00013-X.

EM-DAT. (2008): The OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium, Data version: v11.08

Hall, R. (2003): Cenozoic Tectonics of Indonesia: Problems and Models. *Short Course Material*, Indonesian Petroleum Association, Jakarta. October 2003.

Iwasaki, T. (1964): "Soil Liquefaction Studies in Japan".

Jefferies, M. and Been, K. (2006).*Soil Liquefaction*. Taylor & Francis. Abingdon, Oxon.

Juang, H.C., Yuang, H.K., Chih-Sheng. (2002): Assesing CPT-based methods for liquefaction evaluation with emphasis on the cases from the Chi-Chi, Taiwan, earthquake" *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engiineering*, 22: 241-258.

Kementrian PU. (2010): Peta Zonasi Gempa Indonesia. Jakarta.

Koseki, J. Meguro, K. and Mayorca, P., Johansson, J. (2001): The June 23, 2001 Atico Earthquake, Peru. *Report of Japan Society of Civil Engineering*.

Lai, Y.S., et al. (2004): Discriminant Model for Evaluating Soil Liquefaction Potential Using Cone Penetration Test Data. *Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering*, Vol. 130, No.12, December 2004, pp 1271-1282.

Oka, F. (1995): *Soil Mechanics Lecture*. Morikita Publishing Company, Tokyo, Japan (in Japanese).

Olsen, R.S. (1997): Cyclic Liquefaction Based on the Cone Penetration Test, *NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*; National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York, Buffalo, pp. 1249-1276.

Robertson, P.K. (1990): Soil liquefaction using CPT. *Canadian Geotechnical Journal*, Ottawa, 27 (1), 151-158.

Robertson, P.K. and Wride, C.E. (1998): *Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test*. Geotechnical Group, University of Alberta, Edmonton, AB T6G 2G7, Canada.

Samoedra, H., Gafoer, S. dan Tjokrosapoetro, S. (1992): Peta Geologi Lembar Pacitan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.

Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982): Ground Motions and soil Liquefaction During Earthquakes. *Earthquake Engineering Research Institute Monograph*, Oakland, Calif.

The Japanese Geotechnical Society (1998): *Remedial Measures Against Soil Liquefaction*. A.A. Balkema. Rotterdam. Netherlands.

Youd, T.L. et al. (2001): Liquefaction Resistance soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.817-833.

Dwa Desa Warnana , Ria Asih A. Soemitro, Mohammad Muntaha, Trihanyndio R
Jurusan Teknik Geofisika FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: dwa_desa@geofisika.its.ac.id

Abstrak - *Dalam dua dekade terakhir ini, geofisika dangkal (Geotechnical- Geophysics) telah jauh berkembang dengan munculnya pencitraan spasial 2D, kemudian pencitraan spasial 3D dan sekarang dan pencitraan ruang-waktu 4D. Teknik ini memungkinkan studi tentang variasi spasial dan temporal struktur geologi. Makalah ini bertujuan untuk menyajikan state-of-the-art pada penerapan metode geofisika permukaan untuk karakterisasi kestabilan lereng dan kelongsoran. Sampai saat ini, teknik geofisika relatif sedikit digunakan untuk penilaian kestabilan lereng dan tanah longsor - sedikitnya ada dua alasan utama. Yang pertama adalah bahwa metode geofisika menyediakan citra dalam hal parameter fisik yang tidak langsung berhubungan dengan sifat geologi dan mekanik yang diperlukan oleh para ahli geologi dan ahli geoteknik. Alasan kedua adalah kemungkinan berasal dari kecenderungan di antara ahli geofisika untuk melebih-lebihkan (over estimated) tentang kualitas dan keandalan dari hasil pengolahan data. Makalah ini memberikan kesempatan untuk meninjau aplikasi terbaru dari metode utama geofisika yakni resistivitas dan seismic passive permukaan untuk karakterisasi longsor, menunjukkan kelebihan dan batasan-batasannya. Kami berharap bahwa makalah ini akan memberikan kontribusi untuk mengisi kesenjangan antara komunitas geoteknik dan kekuatan penggunaan metode geofisika yang tepat untuk penyelidikan longsor.*

Kata Kunci : *Geofisika dangkal, resistivity, passive seismic permukaan, kestabilan lereng.*

1. Pendahuluan

Beberapa metode geofisika telah banyak digunakan untuk penyelidikan kestabilan lereng, kelongsoran serta menetapkan ketidak homogenan material, batas dan sifat dari material (Hack, 2000). Sebagian besar metode geofisika yang diterapkan telah ada selama bertahun-tahun tetapi dalam dekade ini teknologi geofisika telah mengalami kemajuan pesat akibat peningkatan peralatan akusisi digital, penerapan pencitraan tomografi dan peningkatan pengolahan data menggunakan komputer (Hack, 2000; Whiteley, 2004).

Metode geofisika didasarkan atas pengukuran fisika untuk memperoleh parameter fisis bawah permukaan (Anderson et al., 2008). Konsep dasar dari penerapan metode geofisika untuk penyelidikan kestabilan lereng dan longsor adalah akibat adanya perubahan parameter fisis tanah yang umumnya memberikan kekontrasan yang cukup besar dengan tanah sekitarnya (Whiteley, 2004). Beberapa metode geofisika yang sering digunakan dalam penyelidika n ini terangkum pada Tabel 1. Prinsip dasar dari metode tersebut dapat ditemukan dalam beberapa referensi (Reynolds, 1997; Telford et al., 1990; Sharma, 1997; Kearey et al., 2002; Okada, 2003).

Makalah ini sudah dipublikasikan pada Seminar Naional 2012 "Tinjauan Kelongsoran dari pandangan geoteknik dan geofisika" 28 Nopember 2012 di univ. Palangkaraya

Tabel 1. Metode geofisika untuk penyelidikan kestabilan lereng dan longsoran

Metode	Paremeter Yang Diukur	Informasi Parameter Fisis	Model Parameter Fisis (Aplikasi)
Seismik refraksi	Waktu tempuh gelombang seismik (gel-P atau gel-S)	Vp, Vs (fungsi modulus elastis dan densitas)	Model 2D: Vp, Vs terhadap kedalaman
Seismik refeleksi	Waktu tempuh dan amplitudo gelombang seismik (gel-P atau gel-S)	Vp, Vs (fungsi modulus elastis dan densitas)	Model 2D: Vp, Vs terhadap kedalaman
Cross-hole	Waktu tempuh dan amplitudo	Vp, Vs (fungsi	Model yang menggambark

seismik tomografi	gelombang seismik (gel-P atau gel-S)	modulus elastis dan densitas)	an variasi spasial dalam kecepatan seismik
Multichannel analysis of surface waves (MASW)	Waktu tempuh gelombang permukaan	Vs (fungsi modulus elastis dan densitas)	Model 2D: Vs terhadap kedalaman
Seismic Noise/ mikrotremor (metode H/V)	Waktu tempuh gelombang permukaan (pasif)	Frekuensi natural, faktor amplifikasi dan Vs	Model 1D dan peta 2D: Vs terhadap kedalaman
Ground penetrating radar (GPR)	Waktu tempuh dan amplitudo gelombang EM	Konstanta dielektrik, permeabilitas magnetik dan kecepatan EM	Model 2D: kecepatan EM terhadap kedalaman
Elektromagnetik (EM)	Respon gelombang EM alam	Konduktivitas listrik	Model 1D, 2D: konduktivitas terhadap kedalaman
Resistivitas	Respon beda potensial terhadap pemberian arus	Resistivitas	Model 1D, 2D: resistivitas terhadap kedalaman
Potensial diri (SP)	Beda potensial alam	Potensial listrik alam	Model 1D dan peta 2D: variasi spasial potensial listrik alam
Gravity	Variasi spasial medan gravitasi	Densitas	Model 1D dan peta 2D: variasi spasial densitas bawah permukaan

Keterangan: V_P = kecepatan seismik gelombang P
V_S = kecepatan seismik gelombang S
Sumber: Anderson et al. (2008)

Keuntungan dari penerapan metode geofisika dalam penyelidikan kestabilan lereng dan longsoran adalah (Jongmans dan Garambois, 2007):

- Fleksibel, relatif cepat dan mudah diterapkan.
- Tidak merusak dan dapat memberikan informasi struktur internal dari tanah atau massa batuan.
- Memungkinkan dalam penyelidikan skala (volume) besar.

Disamping keuntungan di atas, metode geofisika juga mempunyai kelemahan utama yakni (Jongmans dan Garambois, 2007):

- Penurunan resolusi terhadap kedalaman.
- Memberikan solusi yang tidak unik dan hasilnya membutuhkan kalibrasi.
- Memberikan informasi tidak langsung (parameter fisis bukan parameter geologi atau parameter geoteknik).

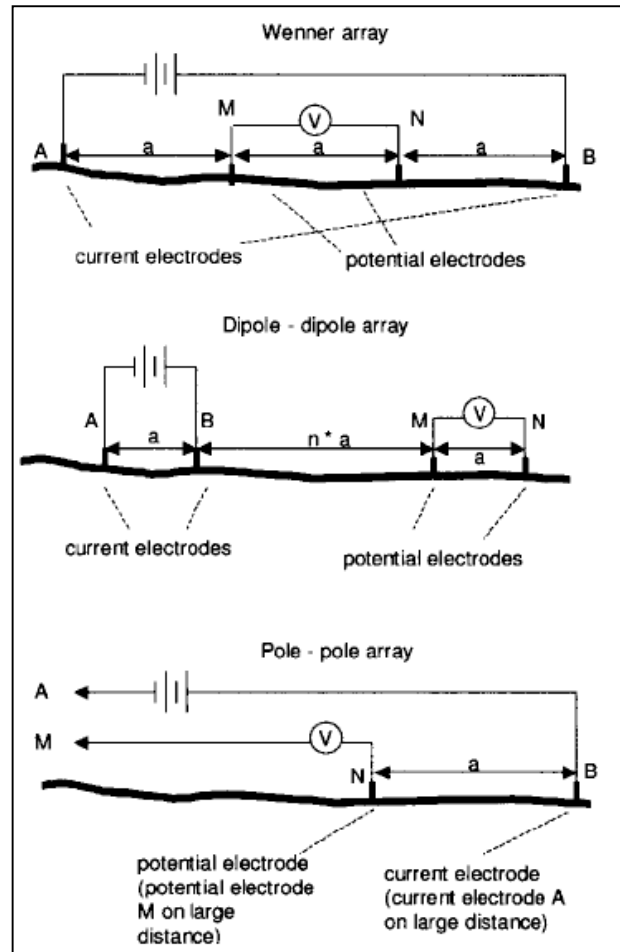
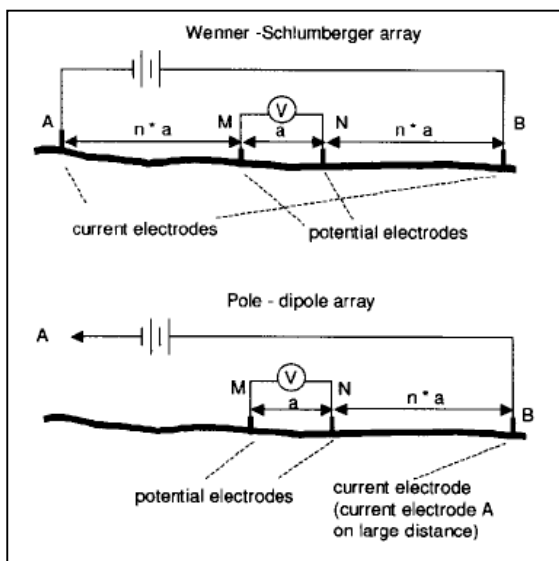
Dari uraian tersebut dapat dipahami bahwa seluruh keuntungan dari metode geofisika selaras dengan kelemahan metode geoteknik dan sebaliknya. Hal ini menandakan bahwa kedua teknik penyelidikan saling melengkapi. Pada makalah ini, kami hanya menjelaskan secara detil dua metode geofisika yakni metode resistivitas dan seismik passive permukaan untuk karakterisasi kestabilan lereng dan longsoran.

Metode Resistivitas

Metode resistivitas merupakan metode geofisika yang sering dipakai dalam studi lingkungan dengan cakupan yang sangat luas. Hal ini disebabkan karena metode ini relatif mudah dan efektif (Panek et al., 2008). Aplikasi metode resistivitas untuk studi kestabilan lereng sudah mulai digunakan pada awal tahun 1970-an (Bogoslovsky dan Ogilvy, 1977) dan berkembang dengan pesat bersamaan dengan pengembangan peralatan dan peralatan komputer sebagai alat bantu komputasi (Hack, 2001). Perkembangan terakhir telah tersedia peralatan dan program computer secara komersial yang menyajikan metodologi terbaru dalam dua dan tiga dimensi "resistivity imaging" atau "Tomografi resistivity" (Dahlin and Bernstone, 1997; Griffiths and Turnbull, 1985; Griffiths et al., 1990; Li and Oldenburg, 1992; Loke and Barker, 1996; Vogelsang, 1994; Ward, 1990). Dalam banyak kasus studi kestabilan lereng, metode resistivitas diterapkan untuk merekontruksi geometri kelongsoran, menentukan bidang gelincir dan melokalisasi zona yang dikarakterisasi dengan kandungan air yang tinggi (Colangelo et al., 2008).

Pengukuran resistivitas didasarkan pada perbedaan harga resistivitas antara berbagai material bawah permukaan. Peralatan pengukuran terdiri dari dua elektroda arus, dua elektroda mengukur potensial, sumber arus DC dan alat ukur. Variasi konfigurasi elektroda yang dimungkinkan dalam survei resistivitas dapat dilihat pada Gambar 1. Sensitivitas maksimum seluruh konfigurasi

diperoleh pada daerah dekat elektroda pengukuran. Pemilihan konfigurasi elektroda pada invesitigasi lapangan tergantung pada: gambaran tipe lokasi (sensitivitas konfigurasi terhadap perubahan vertikal dan horisontal resistivitas bawah permukaan serta kedalaman investigasi), sensitivitas alat resistivitas, tingkatan *background noise* dan kekuatan sinyal (Hack, 2000). Harga resistivitas material sangat bergantung kepada: komposisi mineral penyusun material, porositas batuan, struktur yang ada dalam material, kandungan fluida, temperatur dan kandungan mineral logam dalam lempung (McNeil, 1990).

Berdasarkan pada tujuan penyelidikan, metode resistivitas dibedakan menjadi dua yaitu *mapping* dan *sounding*. Metode geolistrik resistivitas *mapping* merupakan metode resistivitas yang bertujuan mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara horisontal. Oleh karena itu, pada metode ini digunakan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik datum di permukaan bumi. Sedangkan metode resistivitas *sounding* bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan bumi secara vertikal. Pada metode ini pengukuran pada satu titik ukur dilakukan dengan cara mengubah-ubah jarak elektroda. Pengubahan jarak elektroda tidak dilakukan secara sembarang, tetapi mulai jarak elektroda kecil kemudian membesar secara gradual. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan yang terdeteksi (Reynolds, 1997).

Gambar 1. Berbagai konfigurasi elektroda pada metode resistivitas (Hack, 2000)

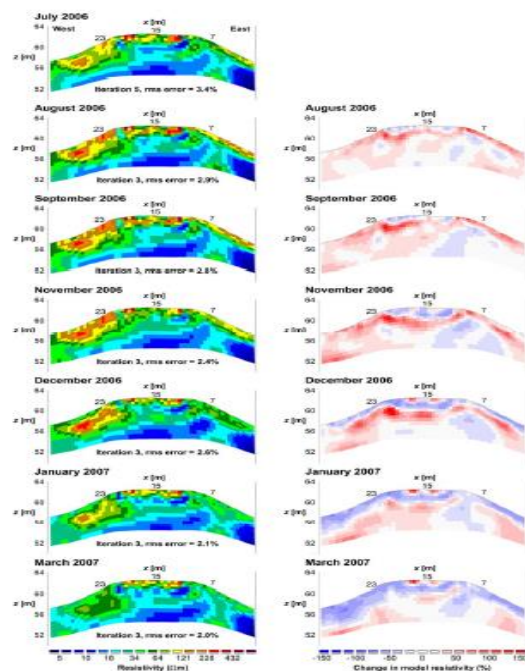
Resistivitas 2 Dimensi (resistivitas 2D) pada fungsinya merupakan gabungan dari proses pengukuran sounding dan mapping. Semakin besar jarak spasi elektroda maka semakin dalam lapisan yang dapat diamati (Loke dan Barker, 1996). Pola pengukuran resistivitas 2D dapat dilakukan dengan beberapa konfigurasi seperti Wenner-Schumberger, dipole-dipole, pole-pole, Wenner dan lainya (Samouelian et al., 2005). Seperti yang telah disebutkan di atas, resistivitas sangat bergantung kepada kandungan fluida, karenanya metode resistivitas 2D dapat juga digunakan sebagai alat untuk memonitor real-time infiltrasi air hujan kedalam tanah dan mendapatkan informasi tentang variasi kandungan air bawah permukaan serta kemungkinan pengaruh variasi tersebut terhadap aktivitas longsoran. Gambar 2, merupakan contoh hasil monitoring pengukuran resistivitas 2D (time-lapse resistivity 2D) untuk tanggul kereta api di Victorian Great Central - Nottingham, UK. Monitoring dilakukan pengukuran setiap 4 minggu dalam kurun waktu Juli 2006 hingga Maret 2007 (Chambers et al., 2008).

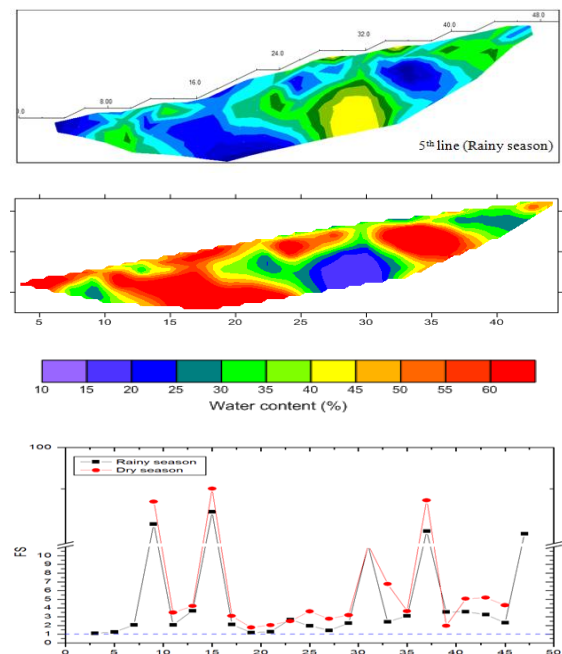
Warnana (2012) telah menggunakan gambar resistivitas untuk menentukan distribusi kandungan air serta mengajukan persamaan semi-empiris untuk menentukan angka keamanan (FS) lereng. Penentuan distribusi kandungan air dari hasil pengolahan data resistivitas dapat didekati dengan menggunakan model semi empiris yang diusulkan oleh Archie (1942) atau menggunakan pengukuran di laboratorium seperti yang telah Warnana (2012) lakukan untuk mendapatkan persamaan empiris. Contoh distribusi kandungan air berdasarkan resistivitas dapat dilihat pada Gambar 3b. Penentuan persamaan empiris FS berdasarkan resistivitas dan sudut kemiringan lokal lereng diperoleh dari korelasi korelasi antara nilai resistivitas dengan FS hasil perhitungan geoteknik model infinite slope dengan kelongsoran dangkal. Persamaan semi empiris untuk perhitungan FS berdasarkan resistivitas dan sudut yang diusulkan adalah:

$$FS_i = \frac{a(\rho_i + b)}{sin\theta_i} \qquad (1)$$

Dimana ρ_i dan θ_i adalah nilai resistivitas dan sudut lokal pada grid sel ke-i

a dan b merupakan konstanta

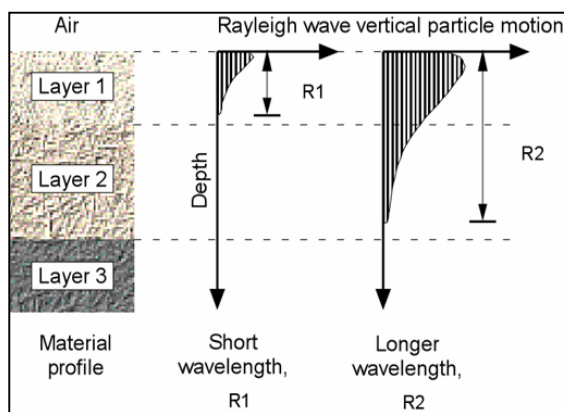
Contoh perhitungan FS berdasarkan resistivitas dan sudut kemiringan lokal untuk menentukan kestabilan lereng dengan lokasi longsoran di Jember – Jawa Timur dapat dilihat pada Gambar 3c (Warnana, 2012).

Gambar 2. (a) Time –lapse resistivitas, (b) Perubahan resistivitas dalam persen dengan baseline Juli 2006 (Chambers et al., 2008)

Pada Gambar 3 terlihat bahwa ditemukan 1 < FS < 1.2 yakni meter ke- pada musim hujan. Berdasarkan Bowles (1989), angka keamanan tersebut disebut sebagai lereng kritis. Adanya proses hujan yang masih terjadi setelah pengukuran di lokasi ini menyebabkan kestabilan tidak dapat dipertahankan (terjadi *soil slip*). Dari hasil analisa di atas, perhitungan FS berdasarkan resistivitas dapat dijadikan alternatif penentuan kestabilan lereng secara kuantitatif. Kelebihan dari perhitungan FS berdasarkan resistivitas ini adalah memberikan informasi variasi kerentanan secara detail terkait dengan perubahan sifat tanah dalam volume yang sangat besar dan memungkinkan untuk digunakan sebagai pemantau satabilitas lereng yang tidak merusak.

Gambar 3. (a) Hasil pengolahan data lintasan 5, (b) sebaran kandungan air, (c) perhitungan FS berdasarkan resistivitas (Warnana, 2012)

Meskipun demikian, keterbatasan dari perhitungan FS berdasarkan resistivitas adalah persamaan empiris masih terbatas pada studi kelongsoran dangkal dan sangat lokal (hanya khusus lokasi penelitian). Konstanta yang digunakan dalam persamaan di atas sangat bergantung kepada parameter kuat geser tanah dan resistivitas yang memberikan batas kestabilan lereng. Karenanya kedepan akan dikembangkan persamaan semi-empiris perhitungan FS berdasarkan resistivitas sehingga dapat dipakai secara umum.

Metode Seismik passive permukaan

Teknik pasive seismik permukaan merupakan metode seismik in-situ yang relatif baru untuk

menentukan profil kecepatan gelombang geser (VS). Pengujian dilakukan pada permukaan tanah, memungkinkan untuk pengukuran lebih murah dibandingkan dengan metode tradisional lubang bor. Dasar dari teknik gelombang permukaan adalah karakteristik dispersif gelombang Rayleigh ketika menjalar melalui media berlapis. Kecepatan gelombang Rayleigh ditentukan oleh sifat material (terutama kecepatan gelombang geser, tetapi juga untuk kecepatan gelombang kompresi/primer dan kepadatan material) dari bawah permukaan hingga kedalaman sekitar 1 sampai 2 panjang gelombang. Seperti ditunjukkan dalam diagram pada Gambar 4, panjang gelombang yang lebih lebar menembus lebih dalam dan kecepatannya dipengaruhi oleh sifat material pada kedalaman yang lebih dalam. Pengukuran gelombang permukaan terdiri dari mengukur kurva dispersi gelombang permukaan di in-situ dan memodelkan untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser (VS) yang sesuai.

Gambar 5. Prinsip metode pasive seismik permukaan

Metode Pasive seismic permukaan atau disebut juga teknik passive gelombang permukaan mengukur gelombang noise; gelombang permukaan yang berasal dari aktivitas gelombang laut, kendaraan, pabrik dan sebagainya. Metode ini termasuk metode mikrotremor 3 komponen single station, array mikrotremor dan teknik refraction microtremor (REMI). Metode ini secara khusus berkembang dalam teknik gempa (earthquake engineering) untuk menentukan geometrid dan kecepatan gelombang geser (Vs) lapisan tanah diatas lapisan bedrock. Metode single station mikrotremor, dan lebih dikenal dengan teknik H/V terdiri dari perhitungan rasio spectral horizontal dan vertical dari rekaman noise serta penentuan frekuensi natural/frekuensi resonan lapisan lunak (Nakamura, 1989). Untuk lapisan lunak tunggal, frekuensi natural didefinisikan sebagai f = Vs/4h dimana Vs adalah kecepatan gelomabang geser lapisan lunak dan h adalah ketebalan lapisan.

Dalam beberapa tahun terakhir ini, beberapa penelitian tentang aplikasi mikrotremor untuk kestabilan lereng dan kelongsoran telah banyak dilaporkan (Izomi dan Ohara, 1999; Ammasov et al., 2007; Meric et al., 2007; Che et al., 2008; Che et al., 2009; Cocia et al., 2010; Del-Gaudio et al., 2011) walaupun penerapan mikrotremor untuk kelongsoran telah dimulai pada era 1970an (Wada et al., 1972).

Dengan menggunakan analisa arah gerakan partikel dari hasil pengukuran mikrotremor, Wada et al. (1972) berhasil memetakan retakan dan arahnya di longsoran Kamenose, Jepang. Izomi dan Ohara (1999) telah melakukan pengukuran mikrotremor pada permukaan lereng di daerah Hansin untuk memperkirakan kelongsoran akibat gempa. Hasil dari penyelidikan tersebut diperoleh: (1) amplitudo spektral mikrotremor di lereng bagian atas umumnya lebih besar daripada di bagian kaki lereng, (2) spektral natural mikrotremor di lereng dipengaruhi oleh bentuk lereng dan lapisan permukaan tanah lunak. Zona anomali yaitu daerah yang diindikasikan akan terjadi longsor, dapat ditentukan dengan faktor amplikasi yang tinggi dan berkorelasi dengan kepadatan tanah yang berkurang atau kecepatan gelombang S permukaan yang rendah (Ammosov et al., 2007; Meric et al., 2007). Faktor ampfikasi dari hasil analisa HVSR juga mempunyai korelasi dengan tingkat kelongsoran akibat gempa, khususnya gempa dengan magnitudo yang besar (Che et al., 2009).

Warnana (2012) mengaplikasikan metode mikrotremor dan melakukan inversi H/V berdasarkan algoritma yang diusulkan oleh Herak (2009) untuk mendapatkan distribusi kecepatan gelombang sekunder di lokasi daerah longsoran, Jember – Jawa Timur. Pengukuran dilakukan di dua musim yang berbeda (musim hujan dan musim kemarau) untuk melihat perbedaan distribusi kecepatan gelombang geser (Vs). Dari analisa tersebut dapat ditetukan geometri bawah permukaan berdasarkan sebaran Vs (Gambar 5)

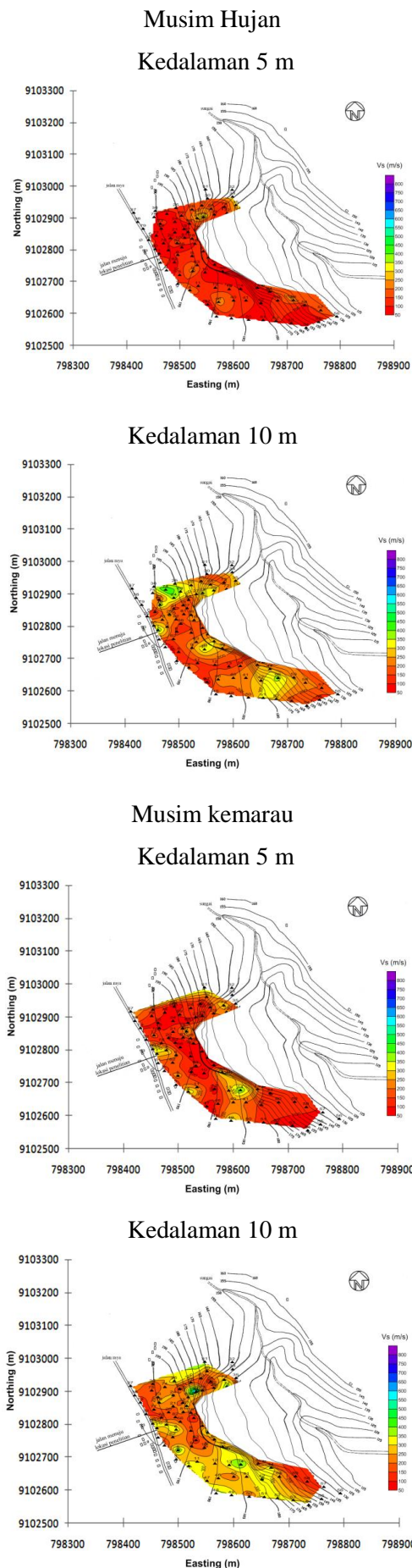
Musim Hujan

Kedalaman 5 m

Kedalaman 10 m

Musim kemarau

Kedalaman 5 m

Kedalaman 10 m

Gambar 5. Hasil inversi dari analisa H/V untuk mendapatkan distribusi kecepatan gelombang geser(Vs) (Warnana, 2012)

SIMPULAN

Konsep dasar dari penerapan metode geofisika untuk penyelidikan kelongsoran lereng adalah akibat adanya perubahan parameter fisis tanah yang umumnya memberikan kekontrasan yang cukup besar dengan tanah sekitarnya (Whiteley, 2004). Teknologi geofisika menjadi sangat penting ketika investigasi bawah permukaan secara langsung dengan teknik pengeboran tidak dapat diterapkan pada kondisi lahan yang berbahaya (Whiteley, 2004) dan dapat memberikan informasi struktur internal dari tanah secara tidak merusak (Jongmans dan Garambois, 2007).

Isu penting yang disampaikan dalam makalah ini adalah memberikan informasi kuantitatif pada analisa kestabilan lereng. Persamaan empiris angka keamanan (*Factor of Safety* – FS) berdasarkan nilai resistivitas dan sudut kemiringan lokal diusulkan dalam makalah ini. Dalam penerapan metode mikrotrmor H/V, dapat ditentukan distribusi dan profil sebaran kecepatan gelombang geser danlam 1D, 2D hingga 3 Dimensi. Penerapan metode mikrotremor tidak terbatas untuk analisa kestabilan lereng pada daerah yang mempunyai daerah kegempaan yang moderat hingga tinggi.

Ucapan Terimakasih

Hasil penelitian yang disampaikan dalam seminar ini meruapakan penelitian yang di danai oleh JICA-Predict Phase 2, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan melalui skema Riset Pengembangan IPTEKS, dan LPPM ITS melalui skema penelitian hibah Doktor (Dana BOPT 2102). Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pihak-pihak yang mendanai penelitian ini, Laboratorium geofisika – Fisika ITS, Laboratorium Mekanika Tanah dan batuan – Teknik Sipil ITS, serta pada Panitia Seminar Nasional 2012 Universitas Palangkaraya.

Daftar Pustaka

Ammosov, A., A. Kalinina, V. Volkov., 2007. Using a three-component KMV seismometer for recording microtremors in the zone of a landslide

slope, Seismic Instruments, Vol. 43, No. 1., pp. 26-33.

Bowles, JE.,1989. Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah, Erlangga, Jakarta, p.562.

Chambers, J E, Wilkinson, P B, Gunn, D A, Ogilvy, R D, Ghataora, G S, Burrow, M P N2 & Tilden Smith, R, Non-Invasive Characterization And Monitoring Of Earth Embankments UsingElectrical Resistivity Tomography (Ert) .

Colangelo, Gerardo., Vincenzo Lapenna, Antonio Loperte, Angela Perrone and Luciano Telesca, 2008. 2D electrical resistivity tomographies for investigating recent activation landslides in Basilicata Region (Southern Italy), Annals Of Geophysics, Vol. 51, N. 1, p.275-285.

Hack R., 2000. Geophysics for slope stability, Surveys in Geophysics, vol. 21, p. 423-448.

Izomi, Shino. And Ohara Shingo., 1999. Measurement of Microtremors on the Surfaces of Slopes, Research Reports Ashikaga Institute of Technology, Vol. 28, p. 187-194.

Jongmans, Denis and Stephane Garambois., 2007. Geophysical investigation of landslides: A review, Bulletin Société Géologique de France 178, 2, p.101-112.

Kearey P., Brooks M. & Hill I., 2002. An Introduction to Geophysical Exploration. 3rd edition, Blackwell, Oxford, 262 pp.

Loke, M.H and R.D. Baker, 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by *quasi*-Newton method, *Geophys. Prospect.*, 44, p.131-152.

McNeill, J.D., 1990. Use of electromagnetic methods for groundwater studies, Geotechnical and environmental geophysics, SEG, Tulsa.

Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.

Okada, Hiroshi., 2003. The Microtremor Survey method, Geophysical Monograph Series, Society of Exploration Geophysicists, P.O. Box 702740, Tulsa.

Pánek ,Tomáš., Jan Hradecký, Karel Šilhán, 2008. Application Of Electrical Resistivity Tomography (Ert) In The Study Of Various Types Of Slope Deformations In Anisotropic Bedrock: Case Studies From The Flysch Carpathians, Studia Geomorphologica Carpatho – Balcanica Vol. XLII, p.57–73.

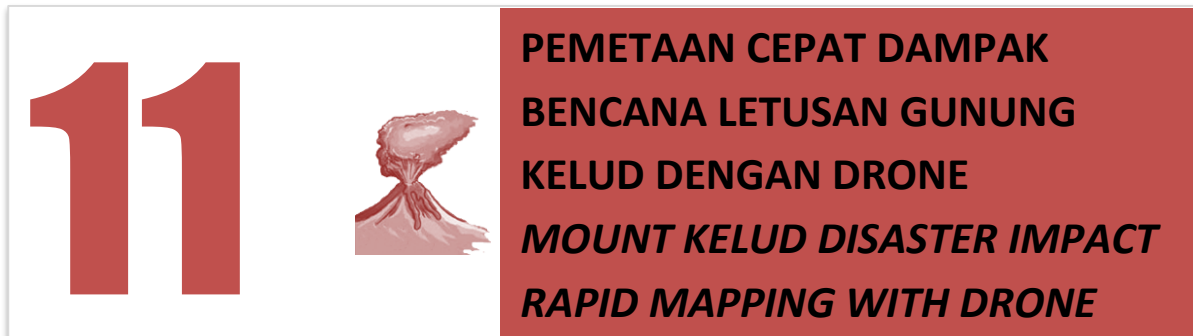
Reynolds J.M., 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons, Chichester, 806 pp.

Samouelian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand, G. Richard, 2005. Electrical resistivity survey in soil science: a review, Soil and Tillage Research, Vol. 83, p. 173-193.

Sharma, P.V., 1997. Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge University Press.

Telford W.M., Geldart L.P., Sherif R.E. and Keys D.A., 1990. Applied Geophysics. Cambridge Univ. Press, Cambridge,770 p.

Warnana, Dwa Desa., 2012. Studi Analisa Kestabilan Lereng Tanah Residual Berdasarkan Pengukuran Resistivitas, Laporan Akhir Penelitian Hibah Doktor – Dana BOPT 2012.

Whiteley, Robert, J., 2004. Application of advanced geophysical technologies to landslides and unstable slopes, Proceedings ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Viana da Fonseca & Mayne (eds.)

Amien Widodo[1], Agung Budi Cahyono[2]
Pusat Studi Kebumian Bencana dan Perubahan Iklim LPPM, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: amienwidodo@yahoo.com

Abstrak - *Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan pemanfaatan Drone atau pesawat tanpa awak untuk memetakan secara cepat dampak letusan Gunung kelud tahun 2014 dan harapannya dapat dipergunakan dalam pengambilan keputusan saat rehabilitasi dan rekontruksi kembali. Drone atau dikenal dengan UAV (Unmanned Aerial Vehicle) menggunakan cara metode image-based modeling berbasis photogrammetry. Drone yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis Quadcopter yang memiliki kelebihan mampu terbang ke segala arah, mengudara tanpa landasan dan bergerak secara vertikal dan horizontal. Pemetaan dilakukan di kawasan sekitar 5 – 10 km dari puncak G Kelud. Hasilnya menunjukkan bahwa desa desa di kawasan sekitar 5 km rusak berat, sebagian besar atap rumahnya roboh atau berlubang lubang, sedangkan kawasan 5 – 10 km dapat diklasifikasikan menjadi 3 yaitu (1) rusak berat untuk rumah dengan genting yang sudah tua dan kemiringan atap di bawah 30 o. (2) rusak ringan untuk bangunan rumah dengan genting baru dengan kemiringan atap < 30o, (3) bangunan rusak ringan atau tidak rusak bagi bangunan dengan genting tua dengan kemiringan sudut atap > 45o dan rumah dengan genting baru. Kesimpulan pesawat tanpa awak dapat dipergunakan untuk memetakan secara cepat kawasan terdampak letusan G Kelud sehingga bisa diketahui jumlah rumah yang rusak berat, sedang dan rusak ringan sekaligus penyebab kerusakannya. Untuk itu disarankan khususnya untuk atap bangunan berkemiringan rendah untuk dirubah sudut kemiringannya.*

Kata Kunci *: letusan G kelud 2014, pesawat tanpa awak, kerusakan.*

Abstract - *The purpose of this research is to develop the utilization of drones or unmanned aircraft to rapidly map the impact of the eruption of Mount kelud in 2014 and hopes can be used in decision making in the rehabilitation and reconstruction back. Drone or UAV known as (Unmanned Aerial Vehicle) use the method of image-based modeling based photogrammetry. Dron used in this study is the type that has the advantages Quadcopter able to fly in all directions, airs without foundation and move vertically and horizontally. The mapping is done in the area around 5-10 km from the summit of the G kelud. The results showed that the villages in the area about 5 km severely damaged, most of the roof of his house collapsed or perforated holes, while the area 5-10 km can be classified into three, namely (1) to severely damaged houses with old tiles and the roof slope under 30 o. (2) minor damage to building homes with new tiles to the roof slope <30o, (3) buildings with minor damage or no damage to the building with the old tiles with kemiriangan roof angle> 45 ° and homes with new tiles. Conclusion drone can be used to rapidly map the affected area G Kelud eruptions so they can know how many houses were severely damaged, and the damage was minor and a cause of the damage. It is recommended especially for low berkemiringan roof slope angle to be changed.*

Keywords*: eruption kelud Mountain 2014, unmanned aircraft, damage.*

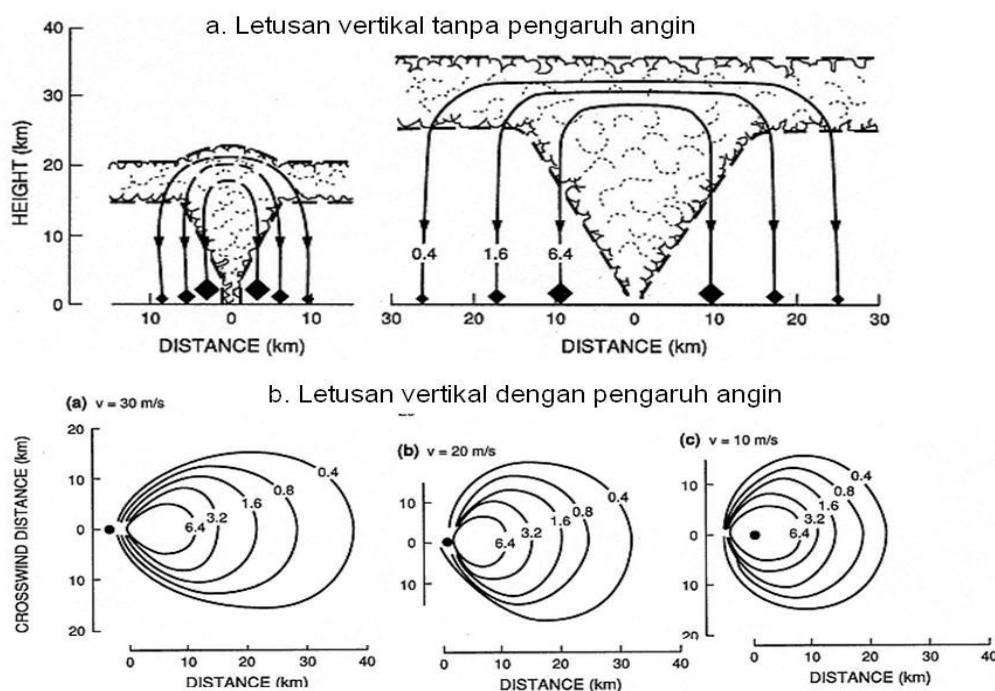
1. Pendahuluan

Berdasarkan analisis Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) letusan G.Kelud pada tanggal 13 Februari 2014 sekitar jam 22.00 malam, merupakan yang terbesar sepanjang sejarah letusan Gunung Kelud karena material letusan terlempar ke angkasa hingga puluhan kilometer dan lontaran pasir dan debu vulkanik yang menyebar sampai kawasan Jawa Barat. Energi magma yang keluar dari perut bumi juga terukur dari jumlah kegempaan yang ada saat letusan atau erupsi, saat erupsi 2007 silam tercatat 500 kali gempa, erupsi tahun 2014 mencapai 1.000 kali gempa. Menurut UU no 24 tahuan 2007 tentang penanggulangan bencana, disebutkan bahwa penyelenggaraan penanggulangan bencana adalah serangkaian upaya yang meliputi penetapan kebijakan pembangunan yang berisiko timbulnya bencana, kegiatan pencegahan bencana, tanggap darurat, dan rehabilitasi. Sering digambarkan dalam

bentuk siklus penanggulangan bencana dimulai dari Tahap Pencegahan dan Mitigasi,Tahap Kesiapsiagaan, Tahap Tanggap Darurat dan Tahap Pemulihan. Siklus bencana harus dipahami bahwa setiap waktu semua tahapan dilaksanakan secara bersama-sama dengan porsi kegiatan yang berbeda. Pengurangan risiko bencana (PRB) adalah konsep dan praktek mengurangi risiko bencana melalui upaya sistematis untuk menganalisa dan mengurangi faktor-faktor penyebab bencana. PRB meliputi semua aktivitas penyelenggarakan bencana yang melibatkan setiap bagian dari masyarakat, pemerintah, sektor profesional dan swasta untuk secara bersama-sama bertindak.

Penanganan cepat dan efektif pada pada setiap tahapan harus terus diupayakan, khususnya saat tahap tanggap darurat, mengingat semakin cepat dan semakin efektif penanganan bencana saat darurat akan mempercepat dalam tahap berikutnya yaitu upaya pemulihan. Tujuan dari penilitioan ini adalah mengembangkan pemanfaatn drone untuk memetakan secara cepat dampak letusan Gunung kelud tahun 2014 dan harapannya dapat dipergunakan dalam pengambilan keputusan saat rehabilitasi dan rekontruksi kembali.

2. METODOLOGI

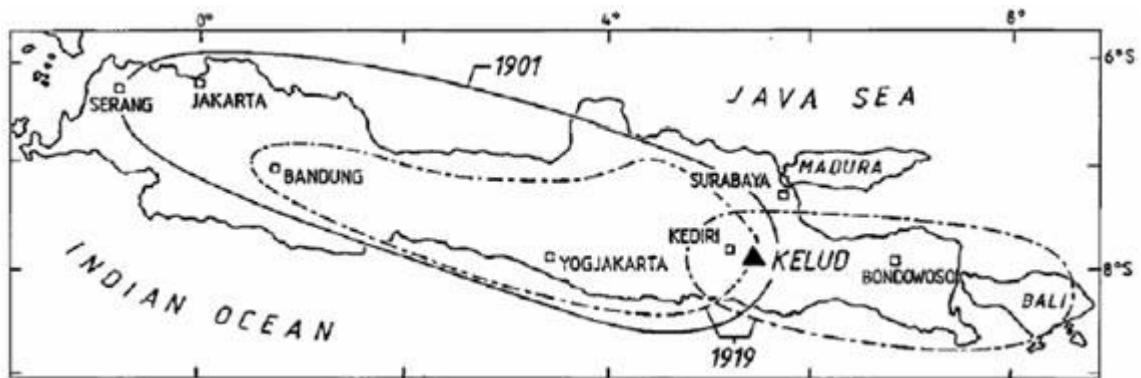
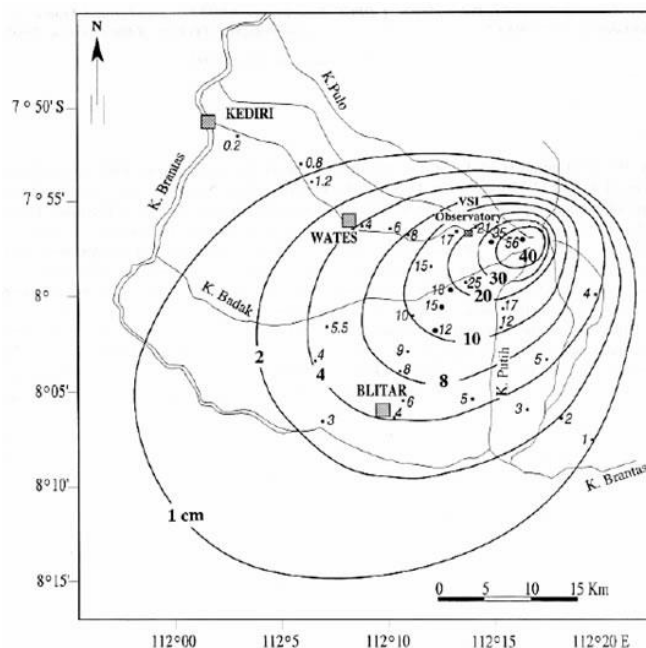
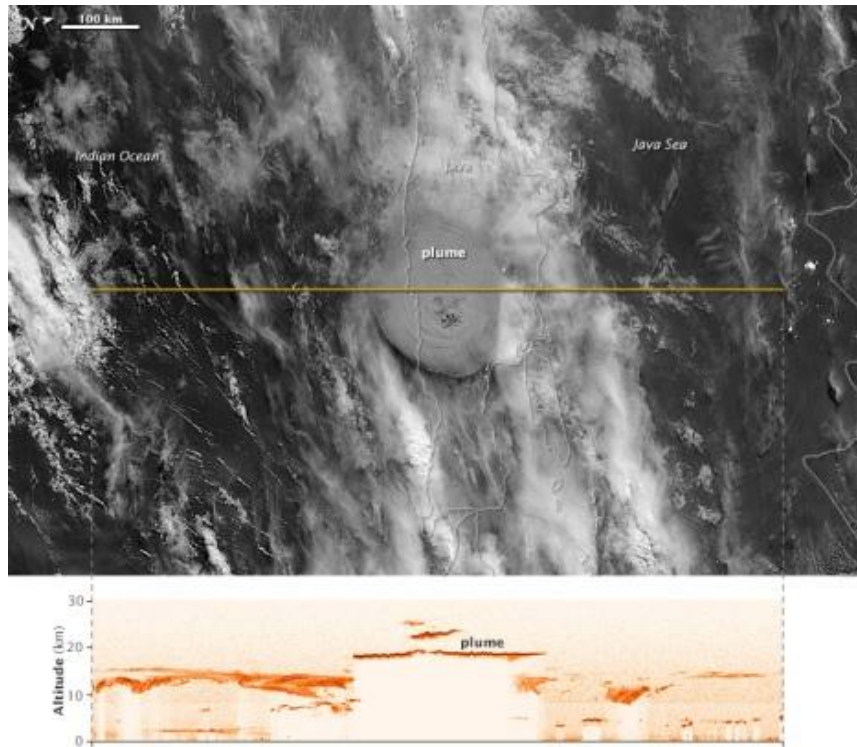
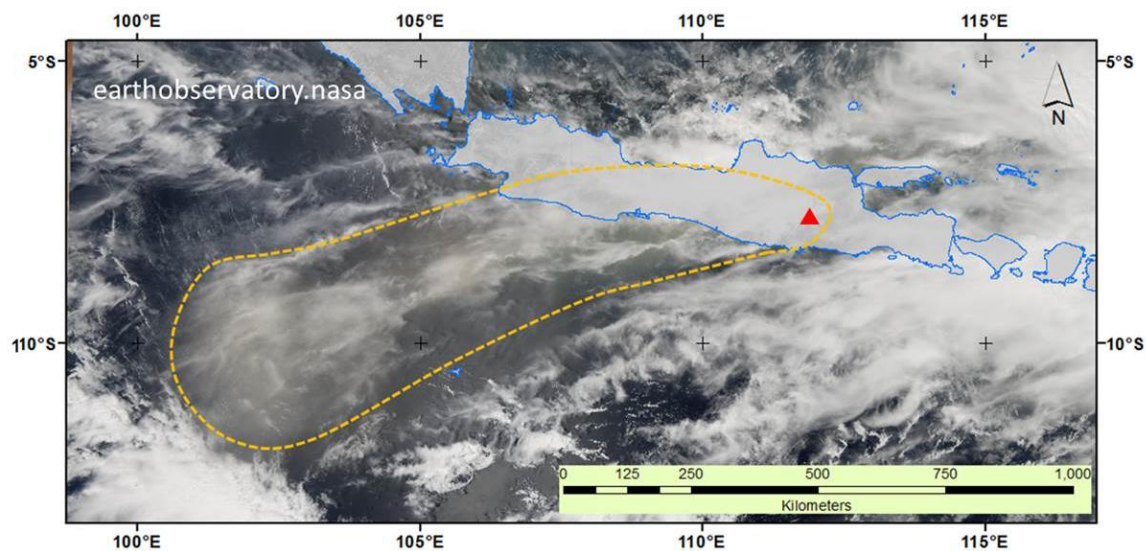
Secara geologis Indonesia termasuk kawasan tektonik aktif yang mengakibatkan aktivitas gempa, tsunami, gunungapi, longsor dan lain sebagainya. Konsekuensinya maka Indonesia Indonesia memiliki 127 gunung berapi aktif sehingga Indonesia termasuk kawasan yang dikenal dengan cincin api dunia yang merupakan kawasan yang banyak gunungapi aktifnya. Aktivitas gunungapi di suatu tempat dipengaruhi oleh sifat fisik magma, tekanan gas, kedalaman dan luas dapur magma. Setelah di atmosfer dipengaruhi oleh arah angin (Gambar 1).

Gambar 1 : Lontaran hasil letusan gunung api tanpa dan dengan pengaruh angin. Angka ngka menunjukkan diameter material dalam sentiemeter dan kecepatan angin (v dalam meter/detik) serta kontur sebaran material sesuai dengan diameter. Sebaran ini dihitung dengan asumsi berat jenis material 2,5 gr/cm3 pada ketinggian 28 km (disederhanakan dari Wohletz, Kenneth, and Grant Heiken, 1992).

Sejarah letusan G. Kelud sangat panjang dan umumnya termasuk letusan eksplosif kuat sampai sangat kuat, baik yang terjadi pada pra sejarah maupun dalam masa sejarah manusia untuk menghasilkan endapan-endapan freatik, freatomagmatik, aliran piroklastik dan jatuhan piroklastik di sekitarnya. Letusan G Kelud telah menghancurkan Kerajaan Majapahit yang merupakan kerajaan maritim dan agraris besar di Jawa Timur. Letak pusat pemerintahan kerajaan

tersebut di Trowulan, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur, sekitar 40 km sebelah utara G. Kelud. Letusan berdampak langsung pada masyarakat yang bermata pencaharian sebagai petani tidak dapat mempergunakan lahannya lagi untuk bercocok tanam karena kekeringan dalam waktu yang lama.

Aktivitas letusan G Kelud umumnya dimulai dengan suatu ledakan freatik yang diikuti oleh suatu letusan plinian pendek yang mencapai ketinggian dari lebih dari 10 km. Letusan gunungapi plinian yang bercirikan mirip dengan letusan dari G Vesivius 79 SM. Letusan Plinian ditandai dengan semburan gas vulkanik dan abu vulkanik yang menyembur tinggi hingga lapisan atmosfer yang sangat tinggi. Karakteristik utamanya adalah pemancaran batu apung dalam jumlah besar dan letusan letusan gas yang sangat kuat dan berlangsung lama. Abu halus dapat menyebar hingga area yang sangat luas. Letusan Plinian sering disertai oleh suara letusan yang nyaring (gelombang infrasonik).

Letusan G Kelud yang bisa terlacak pada tahun 1901 dan 1919. Pada letusan 1919, abu vulkanik terbagi dua. Awan abu yang berketinggian lebih rendah tersebar ke timur sampai sejauh Bali dan awan abu yang lebih tinggi tersebar ke Barat (Gambar 2). Sedangkan pada tahun 1990 sebaran abu volkanik tidak tersebar jauh (Gambar 3).

Erupsi G Kelud pada tahun 2007 tidak terjadi letusan tapi efusif yang menghasilkan anak gunung Kelud yang menutupi kawah yang selama ini banyak airnya. Letusan tahun 2014 menjadi letusan eksplosif yang sangat kuat yang menghancur kubah lava.

Gambar 2 Sebaran abu vulkanik pada letusan G Kelud tahun 1901 dan 1919

Gambar 3 Sebaran abu vulkanik dari letusan 1990 (Bourdier et al., 1997).

Gambar 4 Kolom letusan G Kelud tahun 2014
(Sumber http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83144)

Gambar 5 Sebaran abu G Kelud tahun 2014 (Sumber http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83144

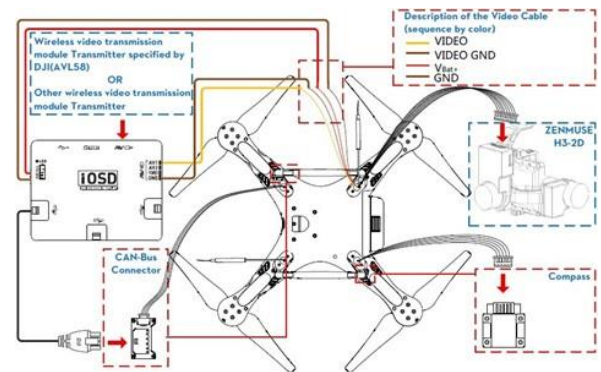
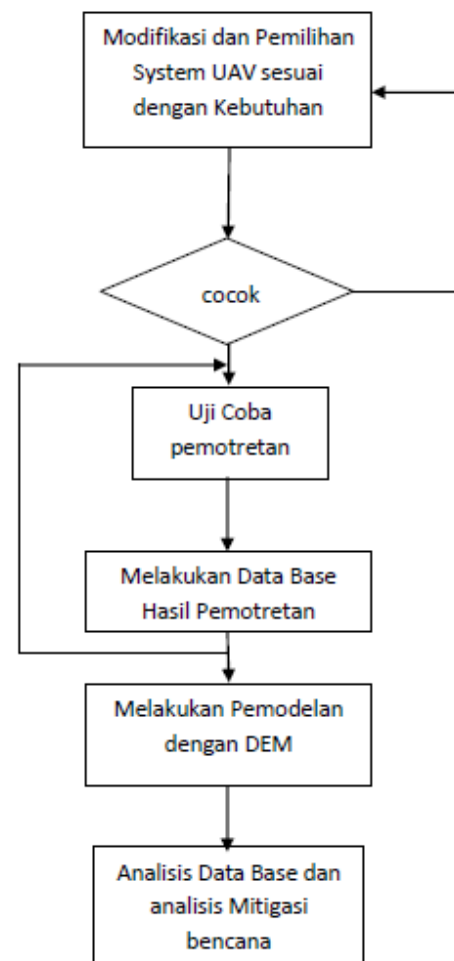
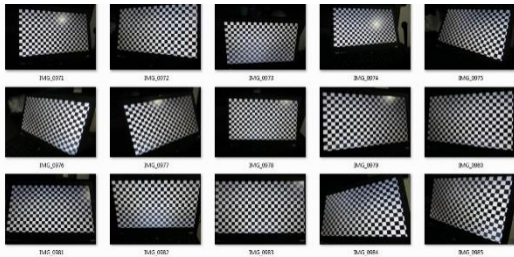
Drone adalah istilah yang digunakan untuk pesawat tanpa awak yang digerakkan dengan control jarak jauh. Pada awalnya sebagai hobi kemudian berkembang pesat untuk berbagai keperluan, seperti untuk perang atau untuk pemetaan atau untuk pemantauan kawasan terdampak bencana. Menurut Eisenbeiss (2008c, dalam Sukmana 2010) UAV fotogrametri adalah *"photogrammetric measurement platform, which operates remotely controlled, semi-autonomously, orautonomously, without a pilot sittinginthevehicle"*. Metode yang dikembangkan berbasis *photogrammetry*. Salah satu jenis drone adalah jenis *Quadcopter* yang memiliki kelebihan mampu terbang kesegala arah, mengudara tanpa landasan dan bergerak secara vertikal dan horizontal. Dengan kemampuan

otomatik, pesawat bergerak menjaga keseimbangannya sendiri sehingga mudah dioperasikan baik untuk berpindah, mulai terbang sampai dengan pendaratan. Kemampuan memungkinkan bisa terbang menjangkau ke berbagai sudut obyek menjadikan wahana UAV jenis ini sangat ideal untuk keperluan pemetaan.

Sistem pemotretan udara terdiri dari dua bagian, yaitu sistem pada pesawat *multicopter*dengan baling-baling 4 buah (*Quadcopter*)dan sistem pada *groundstation*. Sistem pada *Quadcopter*antara lain berupaperangkat bantu navigasi dan perangkat pemotretan udara dengan kamera Canon SX260HS. Instalasi perangkatyang digunakan dalam pemotretan udara yaitu seperti diagram (Gambar 6) :

Tahapan pelaksanaan kegiatan terdiri (1) analisis medan pemotretan, penyusunan requirement dan pemilihan system UAV yang tepat untuk misi pemotretan (2) mendata base hasil pemotretan (3) mengolah hasil pemotretan menjadi 3D dan analisis fotogametri (4) Penyampaian laporan. Adapun lokasi pelaksanaan kegiatan ini yaitu **Desa Pandansari Malang dan Desa Puncu Kediri**

Pengolahan hasil pemotretan dipwelukan karena kamera fotogrametri tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi kamera adalah proses untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik kamera. Parameter intrinsik meliputi geometri internal kamera dan parameter optik seperti *focal length*, koefisien distorsi lensa, faktor-faktor skala yang tidak dapat diestimasikan dan koordinat origin gambar pada komputer. Parameter ekstrinsik meliputi orientasi posisi kamera terhadap sistem koordinat dunia. Hal ini meliputi tiga sudut Euler dan tiga parameter translasi. Alat dan Bahan pada tahapan ini adalah Kamera Canon PowerShot SX 260 HS, tripod kamera, selotip dan mal Grid.

Mosaik yang dihasilkan dalam ukuran piksel adalah bernilai antara 0.1 – 0.2 meter. Terlihat gambar tidak tajam/blur jika di-*zoom*, hal ini dikarenakan nilai piksel yang digunakan cukupbesar. Pemilihan nilai piksel tergantung pada tujuan penggunaan mosaik. Semakin kecil nilai piksel maka semakintinggi kualitas gambar yang dihasilkan. Dari analisis di atas dapat dikatakan bahwa kualitas visual mosaik melaluipengolahan dihasilkan cukup baik,untuk tetapi untuk beberapa detail seperti tepi jalan atau bangunan memiliki geometri yangtidak tajam karena kamera yang digunakan spesifikasi kelas *pocket-camera* sehingga foto yang diambilkurang tajam dan ukuran pikselnya terlalu besar sehingga kurang mewakili daerah yang di foto. Kekurangan tersebut dapat diminimalisir dengan mengulang pengolahan foto dengan meningkatkan kualitas pemrosesan.

Gambar 6. H3-2D gimbal, iOSDdan DjiAVL58

Gambar 7. Tahapan penelitian

Gambar 8. Grid Kalibrasi

Gambar 9. Foto Udara dari QuadCopter, Desa Pandansari, Ngantang. Kabupaten malang, terlihat perubahan tutupan lahan terutama pola sungai

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil kegiatan pemotretan udara Tim Rapid Maping – Pusat Studi Kebumian, Bencana dan Perubahan Iklim - ITS, di desa Ngantang, Kab. Malang tepatnya di Desa Pandansari dan Puncu-Kediri pada tanggal 19 Februari 2014 (Gambar 9 dan Gambar 10)

Hasil interpretasi foto udara dari sistem ini dapat mengklasifikasikan menjadi 3 yaitu (1) rusak berat untuk rumah dengan genting yang sudah tua dan kemiringan atap di bawah 30 º. (2) rusak ringan untuk bangunan rumah dengan genting baru dengan kemiringan atap < 30º, (3) bangunan rusak ringan atau tidak rusak bagi bangunan dengan genting tua dengan kemiriangan sudut atap > 45º dan rumah dengan genting baru.

4. KESIMPULAN

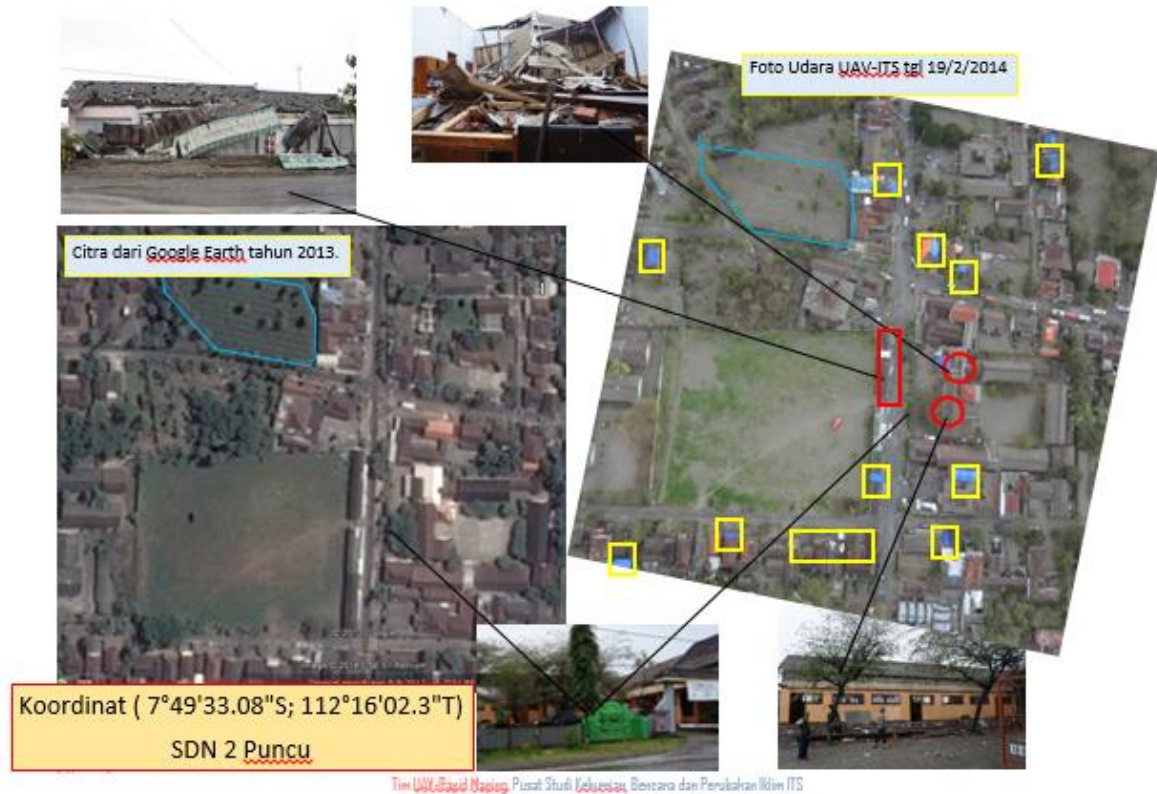
Berdasarkan sistem yang telah dibuat beserta serangkaian uji coba maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Penggunaan alat Quadcopter sebagai wahana *UAV-Photogrammetry* dengan sensor kamera amatir dalam kegiatan ini dapat dilakukan khususnya untuk wilayah terdampak bencana letusan gunung terutama untuk mengamati kerusakan rumah serta tutupan lahan karena kemampuannya untuk terbang vertikal dan rendah.

Untuk *QuadCopter* pada jenis ini salah satu kelemahan adalah daya baterai litium yang digunakan selama 8 menit/baterai. Untuk kegiatan ini digunakan 4 baterai sehingga total terbang 1 x untuk *flight test* sedangkan total pemotretan menggunakan 3 baterai atau sepanjang 8 x 3 = 24 menit dengan menghasilkan sekitar 64 foto

DAFTAR PUSTAKA

1. Sukmana, C.A. 2007. *Seri Workshop Oleh Laboratorium FotogrametriDan Penginderaan Jauh*– Teknik Geodesi UGM.
2. RuliAndaru, 2008. *Kumpulan Riset Tentang UAV*, Jurusan Teknik Geodesi. Fakultas TeknikUGM.
3. Prabowo, G.S. 2012. *Membangun Kapasitas Daerah Sleman Untuk Mitigasi Bencana Dengan Memanfaatkan Teknologi UAV*, Pusat Teknologi Penerbangan Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional.

4. Gularso, H. etall, 2013. *Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat ModelSkywalker 1680*, Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Jurnal Geodesi Undip Volume 2, Nomor 2.
5. Wohletz, Kenneth, and Grant Heiken. *Volcanology and Geothermal Energy*. Berkeley: University of California Press, 1992.
6. http://publishing.cdlib.org/ucpressebooks/view?docId=ft6v19p151;brand=ucpress
7. http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83144

Gambar 10. Mosaik Foto Udara Desa Puncu Kediri

Christiono Utomo
Jurusan Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: christiono@ce.its.ac.id

Abstract - *This paper presents a conceptual model of coalition formation on negotiation support for civil engineering decision. The model facilitates the solving of group choice decision making problems in civil engineering decision to reduce the impact of natural disaster in. It contains of five stakeholders, three preferences and six alternatives. The methodology applied in this paper combines methods for decision process and coalition formation process. Analytical Hierarchy Process (AHP) is for decision process and coalition-based game theory is for coalition formation process. A group choice decision support is required to enable each stakeholder to evaluate and rank the solution alternatives before engaging into negotiation with the other stakeholders. Such civil engineering solutions as alternatives are referred to as agreement options that are determined by identifying the possible stakeholder choice, followed by determining the optimal solution for each group of stakeholder. Determination of the optimal solution is based on a game theory model of n-person general sum game with complete information that involves forming coalitions among stakeholders.*

Keywords*: Coalition formation, keputusan enjinering, dampak bencana alam*.

I. INTRODUCTION

Decisions for reducing impact is very complicated since many parties involved in a critical time. Where a number of stakeholders are involved in choosing a single alternative from a set of solution alternatives, a group decision support is required to facilitate the solving problems in selection the best alternative decision for reducing impact of mud disaster. It based on a hybrid of analytic and artificial intelligent techniques that similar to the strategic negotiation proposed by Kraus (2001). The coalition formation model was tested for solving group choice decision making problems to reduce the impact of mud volcano disaster in Sidoarjo, Indonesia (Utomo et al, 2009). The mudflow disaster has implicated many parties. For four years, a sea of hot mud has been gushing from the ground in Sidoarjo, East Java. The Friends of the Earth International (Pohl, 2007) reported that infrastructure has been damaged extensively, including power transmission systems, toll roads, gas pipelines and national artery roads. Approximately 600 ha of land and villages are submerged, farmland is ruined, businesses and schools are closed. Moreover, irrigation channels are swamped by the mud, and drainage and drinking water pipes are affected. Containment 'basins' or 'ponds' enclosing areas of land within earth walls are built. They are not sustainable solutions as heavy rains in the rainy season would cause the walls to collapse and ponds to overflow causing the flooding of more land and damaging more infrastructure. As it becomes clear that construction of containment ponds would not keep up with the rate that the mud is gushing from its underground source, it is decided to channel the mud into the Porong River and the sea (Madura Strait).

II. THEORETICAL BACKGROUND

Cooperative game theory concepts have been used. The concepts are suited to decentralized multitask environment (Zarour and Bouzidi, 2006). A cooperative game consists of two elements which are first, a set of player N = {1,2,…, n}. Members of N run from 1 to n. The second is a characteristic function specifying the value created by different subsets of the player in a game. The characteristic function is a function denoted v that associates with every subset S of N, denoted v(S). In a cooperative game, it is a pair (N,v), where N is a finite set and v is a function that maps subsets of N to members. Decision makers may choose to cooperate by

forming coalitions. Coalition is formed in order to benefit every member of the coalition so that all might receive more than they could individually on their own. Coalition has been used in many researches in negotiation (Kraus, 2001). Since there are possible subsets of N, there are possible coalitions. If N= {1, 2} or coalitions with two members, the possible coalition are = {0, 1, 2, 1-2}. In every coalition there is empty coalition that is a coalition made up of no members (the null set) and a grand coalition N consisting of all the players (Kelly, 2003). The benefit of a coalition can be quantified by characteristic function. The characteristic function of a coalition is the largest guaranteed payoff to the coalition. A coalition structure is a means of describing how the players divide themselves into mutually exclusive coalitions. It can be described by a set of the m coalition that is formed.

III. METHODOLOGY

The methodology applied in this paper combines methods for decision process and coalition formation process. Analytical Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 2004) is for decision process and coalition-based game theory (Kelly, 2003) is for coalition formation process. Figure 1 presents the process of the methodology applied in this paper.

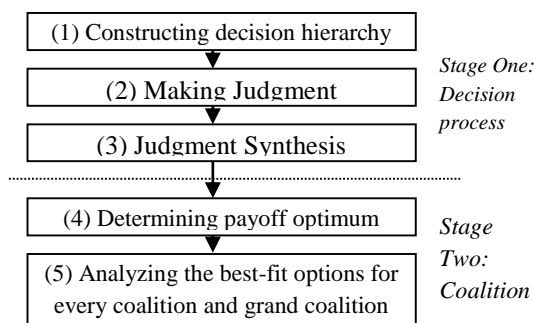



Figure1 Process of Coalition Formation

IV. RESULT AND DISCUSSION

4.1. Stage One: Decision Process

AHP is a powerful and flexible decision making process to help people set priorities and make the best decision when both qualitative and its quantitative aspects of a decision need to be considered. By reducing complex decisions to a series of one-on-one comparison, then synthesizing a result, AHP provides a clear rationale for it being declared the best decision. AHP is a framework of logic and problem resolving achieved by organizing perceptions, feelings, judgments, and memories into a hierarchy of forces that influences decision result (Dey, 2006). The AHP also can be used successfully with a group (Wanyama, 2006) and negotiation (Wang and Zionts, 2008).

1. Constructing Decision Hierarchy

Figure 2 shows the goal of the problem (G ="to select the best alternative decision for reducing impact of mud disaster") that is addressed by some alternatives (A = a1; a2; a3; a4; a5; a6) i.e. possible solutions. Each alternative are presenting combination of preference, + means good, - means bad and 0 means average. In this decision, +C1 means that the alternative is technically good, +C2 means that the alternative is not expensive, and +C3 means that implementation of the alternative will give good impact socially and environmentally. The problem is split into sub-problems (C1; C2; C3) which are criteria evaluating alternatives.

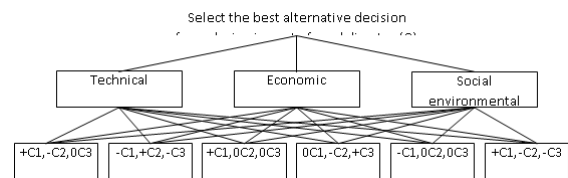



Figure 2 Decision Hierarchy

2. Making Judgments

The relative importance of pair-wise comparison (Saaty, 2004) of decision input could be: equal (1), moderate (3), strong (5), very strong, demonstrated (7) or extreme (9). Sometimes one needs to compromise judgments (2; 4; 6; 8) or reciprocal values (1/9; 1/8; 1/7; 1/6; 1/5; 1/4; 1/3; 1/2). There are two judgments involved in this decision - the first is criteria judgment for each stakeholder (See Figure 3) and the second is technical solution judgment for each criterion (See Figure 4). Figure 4 presents that alternatives 1 and 5 are the best solution for criteria technical but different for economical and social environmental criteria, in which alternative 2 and alternative 4 are best for economical and social environmental respectively.

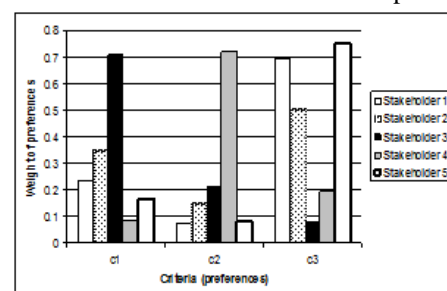



Figure 3 Weighting Factor of Every Stakeholder for Each Criterion

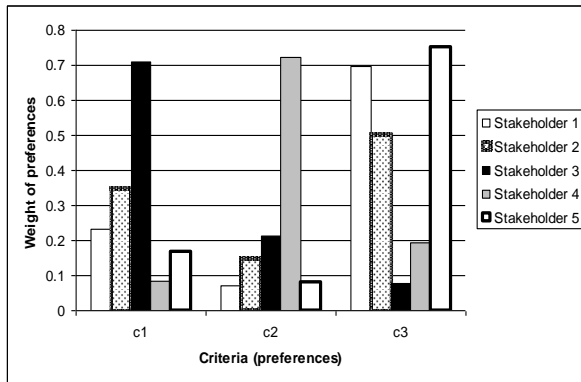



Figure 4 Weighting Factor of Every Alternative for Each Criterion

Figure 5 Weighting Factor of Every Alternative for Each Stakeholder

3. Judgments Synthesis

Figure 5 show that stakeholders have different best option as a solution alternative. Only three alternatives are considered as the best options which are a1, a2, and a4.

4.2. Stage Two: Coalition Formation

4. Determining the payoff optimum. The process of determining payoff optimum and the result are presented on Table 2.

Table 2 Payoff Optimum for Each Coalition

Coalition	Alternatives						Payoff Optimum	
SH1+2+3+4+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.123
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	1.060	1.0885	1.117	1.194	1.080	0.548		1.194
SH1+2	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.251
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
	0.313	0.339	0.365	0.533	0.451	0.337		0.533

Coalition	Alternatives						Payoff Optimum	
SH1+3	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.172
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
	0.326	0.378	0.430	0.467	0.448	0.329		0.467
SH1+4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum

SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.270
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
	0.234	0.298	0.362	0.513	0.464	0.427		0.513
SH1+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.239
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.280	0.338	0.396	0.490	0.456	0.378		0.490
SH2+3	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
	0.577	0.541	0.505	0.461	0.407	0.051		0.577
SH2+4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.263
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
	0.485	0.461	0.437	0.507	0.423	0.149		0.507
SH2+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.077	0.282
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.041	0.249
	0.531	0.501	0.471	0.484	0.415	0.100		
SH3+4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.258
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
	0.498	0.5	0.502	0.441	0.419	0.141		0.502
SH3+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.293
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.544	0.54	0.536	0.418	0.411	0.092		
SH4+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.224
	0.452	0.4595	0.467	0.464	0.427	0.190		0.467
SH1+2+3	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.154
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
	0.608	0.629	0.650	0.730	0.653	0.359		0.730
SH1+2+4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.251
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282

SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
	0.516	0.549	0.582	0.776	0.669	0.457		0.776
SH1+2+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.221
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.562	0.589	0.616	0.753	0.661	0.408		0.753

Coalition	Alternatives						Payoff Optimum	
SH1+3+4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.172
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
	0.529	0.588	0.647	0.711	0.666	0.449		0.711
SH1+3+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.142
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.575	0.628	0.681	0.688	0.658	0.399		
SH1+4+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.239
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.483	0.5475	0.612	0.734	0.674	0.498		0.734
SH2+3+4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.254
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
	0.780	0.751	0.722	0.704	0.624	0.170		0.780
SH2+3+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.293
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.826	0.791	0.756	0.681	0.616	0.121		0.826
SH2+4+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.239
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251

	0.734	0.7105	0.687	0.727	0.632	0.219		0.734
SH3+4+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.258
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.746	0.749	0.752	0.661	0.629	0.211		0.752
SH1+2+3+4	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.154
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
	0.811	0.839	0.867	0.974	0.871	0.478		0.974
SH1+2+3+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.123
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.857	0.879	0.901	0.951	0.863	0.429		0.951
SH1+2+4+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.221
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.765	0.7985	0.832	0.997	0.879	0.527		0.997

Coalition	Alternatives						Payoff Optimum	
SH1+3+4+5	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Max-min	Optimum
SH1	0.031	0.088	0.145	0.270	0.246	0.308	0.276	0.142
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.295
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	0.778	0.8375	0.897	0.931	0.875	0.519		0.931
SH2+3+4+5	a1	a2	a3	a4	a5		Max-min	Optimum
SH2	0.282	0.251	0.220	0.263	0.205	0.030	0.253	0.282
SH3	0.295	0.29	0.285	0.197	0.202	0.021	0.274	0.252
SH4	0.203	0.21	0.217	0.243	0.218	0.120	0.124	0.243
SH5	0.249	0.25	0.251	0.220	0.210	0.070	0.180	0.251
	1.028	1	0.972	0.925	0.834	0.241		1.028

5. Analyzing the best-fit options for every coalition and grand coalition. The result is presented in Table 3, which shows the priorities that follow the best-fit options process and coalition algorithm.

Table 3 Weighting Factor of Each Alternative and Coalition

	Alternative ranking and coalition	Alternatives					
		a1	a2	a3	a4	a5	a6
1	0	0	0	0	0	0	0
2	SH 1 (Community)	2nd	6th	3rd	1st	4th	5th
3	SH 2 (Government)	2nd	6th	3rd	1st	5th	4th
4	SH 3 (Engineer)	1st	5th	4th	3rd	6h	2nd
5	SH 4 (Sponsor)	5th	1st	2nd	3rd	4th	6h
6	SH 5 (NGO)	2nd	6h	3rd	1st	4th	5th
7	Coalition SH1 and SH2	1st	6th	2nd	4th	3rd	5th
8	Coalition SH1 and SH3	3rd	4th	1st	2nd	6th	5th
9	Coalition SH1 and SH4	4th	5th	1st	2nd	6th	3rd
10	Coalition SH1 and SH5	3rd	4th	2nd	1st	5th	6th
11	Coalition SH2 and SH3	3rd	2nd	1st	5th	4th	6th
12	Coalition SH2 and SH4	3rd	6th	1st	5th	2nd	4th
13	Coalition SH2 and SH5	3rd	6th	1st	5th	2nd	4th
14	Coalition SH3 and SH4	3rd	6th	1st	2nd	4th	5th
15	Coalition SH3 and SH5	3rd	6th	1st	5th	2nd	4th
16	Coalition SH4 and SH5	4th	6th	1st	5th	3rd	2nd
17	Coalition SH1, SH2, SH3	2nd	4th	1st	5th	3rd	6th
18	Coalition SH1, SH2, SH4	4th	5th	1st	6th	2nd	3rd
19	Coalition SH1, SH2, SH5	2nd	5th	3rd	1st	4th	6th
20	Coalition SH1, SH3, SH4	3rd	5th	1st	6th	2nd	4th
21	Coalition SH1, SH3, SH5	4th	3rd	1st	6th	2nd	5th
22	Coalition SH1, SH4, SH5	4th	5th	1st	6th	2nd	3rd
23	Coalition SH2, SH3, SH4	4th	2nd	1st	5th	3rd	6th
24	Coalition SH2, SH3, SH5	3rd	4th	1st	6th	2nd	5th
25	Coalition SH2, SH4, SH5	4th	5th	1st	6th	2nd	3rd
26	Coalition SH3, SH4, SH5	3rd	5th	1st	4th	2nd	6th
27	Coalition SH1,2,3,4	4th	5th	1st	6th	2nd	3rd
28	Coalition SH1,2,3,5	6th	3rd	1st	5th	2nd	4th
29	Coalition SH1,2,4,5	2nd	4th	1st	6th	5th	3rd
30	Coalition SH1,3,4,5	3rd	4th	1st	6th	2nd	5th
31	Coalition SH2,3,4,5	3rd	5th	1st	4th	2nd	6th
32	Coalition SH1,2,3,4,5	2nd	5th	1st	6th	4th	3rd
	RESULT	3rd	4th	1st	2nd	-	-

The coalition table (Table 3) reveals the start of the first negotiation round. Some solutions are not an option if no individual stakeholder or coalition of stakeholders desires to select it. In this case, alternative solution a5 and a6 are not options. The table also indicates the alternative solution that will be determined the best fit solution. In this problem, in the first negotiation round, a3 is the 'best-fit' solution.

4.3. Validation by Similarity Index

The result of similarity index is presented on Table 4. The similarity index shows that the coalition algorithm model gives satisfaction to all stakeholders.

Table 4 Similarity Index

	Model 1: Single weighting	Model 2: Aggregation	Model 3: Coalition algorithm
Stakeholder 1	>1=1	>1=1	0.466823
Stakeholder 2	>1=1	0.660666	0.151679
Stakeholder 3	1	0.664501	0.199419
Stakeholder 4	>1=1	>1=1	0.008331
Stakeholder 5	>1=1	0.79176	0.142212

V. Conclusion

The coalition formation can help stakeholders to evaluate and rank the solution alternatives before engaging into negotiation with the other stakeholders. Based on a cooperative environment, a negotiation support can be developed. Future research in the application of this methodology in many field of engineering decision will build a wide range of knowledge to solve the theoretical and practical gap in decision and negotiation on the nature of group decision in reducing impact of natural disaster.

References

Dey, P.K. (2006) "Integrated project evaluation and selection using multi attribute decision making technique". *International Journal Production Economics* 103, pp. 90-103.

Kelly, A. (2003) *Decision Making Using Game Theory: An Introduction for Managers,* UK, Cambridge University Press. Cambridge.

Kraus, S. (2001) *Strategic Negotiation in Multi-agent Environments*. MA, the MIT Press.

Pohl, C. (2007) Lapindo Brantas and the Mud Volcano Sidoarjo, Indonesia. Friends of the Earth International.

Saaty, T.L. (2004) "Decision making: the analytical hierarchy process and network process (AHP/ANP)," *Journal of System Science and System Engineering,* vol.13 (1), pp.1-34.

Utomo, C., Idrus, A., Napiah, M. and Khamidi, M.F. (2009). Agreement Options on Multi Criteria Group Decision and Negotiation. *International Conference on Operations Research.* World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET). Penang Malaysia, February 25-27: 447-451.

Wanyama, T. (2006) *Decision support for COTS selection*. Unpublished dissertation. University of Calgary.

Wang, J. and Zionts, S. (2008) "Negotiating wisely, considerations based on MCDM/ MAUT". *European Journal of Operation Research* 188, pp.191-205.

Zarour, N.E. and Bouzidi, S. (2006) "Coalition Formation for Cooperative Information Agent-based System," *International Journal of Computers, Communications & Control,* vol. 1(3), pp.85-92.

13 Intervention Analysis Evaluating the Impact of Disaster

Suhartono
Department of Statistics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
Email: suhartono@statistika.its.ac.id

Abstract - *Intervention analysis is a statistical model in the group of time series analysis which is widely used to describe the effect of an intervention caused by external or internal factors. An example of external factor that often occurs in Indonesia is a disaster, both natural or man-made disaster. The main advantage of the intervention analysis is able to measure accurately the magnitude and duration of the impact of a disaster on a time series data. The purpose of this paper is to provide the results of empirical studies on intervention analysis for evaluating the impact of a disaster on two real cases in Indonesia, i.e. the impact of the Lapindo mud on the volume of vehicles on the highway and the impact of the Bali bombing on the number of tourist arrivals. The results showed that the intervention model can describe and explain accurately the magnitude and duration of the impact of a disaster on a time series data..*

Keywords: *intervention analysis, time series, disaster, external factor, impact, magnitude, duration.*

I. INTRODUCTION

Autoregressive Integrated Moving Average or ARIMA model is one of time series models that is popular and widely applied in the time series forecasting [1,2,3,4]. Box-Jenkins methodology is a standard procedure that is widely used to obtain the appropriate ARIMA model to a time series. This procedure consists of four stages, namely the identification, parameter estimation, diagnosticscheck, and forecasting.

In practice, it is frequently found that the time series suffer extreme changes in the mean pattern known as regime change [5] or structural changes [6]. These changes are usually caused by either an intervention coming from external and/or internal factors. Due to the extreme changes in the data pattern,it causes inaccuracy results at the identification stage and imply to obtain spurious final model which is not appropriate to data.

Disaster is one of intervention from external factors that often impact on the changing of datapattern in a time series. In general, a disaster can be divided into two types, i.e. natural and man-made disasters. Some examples of natural disasters that have occurred in Indonesia was the tsunami in Aceh on December 26, 2004, earthquake in Yogyakarta on May 27, 2006, Lapindo mudflow in Sidoarjo on May 29, 2006, earthquake in Padang on September 30, 2009, and the eruption of Mount Merapi in Yogyakarta on October 26, 2010. Otherwise, an example of man-made disaster is the Bali bombing on October 12, 2002 and October 1, 2005. Fig. 1 illustrates some catastrophic events that have occurred in Indonesia during the past 10 years.

Fig. 1. Some catastrophic events that have occurred in Indonesia during the past 10 years.

One of the important issues of the catastrophic events is how to measure precisely, the magnitude and duration of the impact caused by these disasters. For example is how to measure and determine the impact of the 2006 earthquake and the eruption of Mount Merapi in 2010 to the tourism sector (as measured by the number of foreign tourists visiting Yogyakarta). The same question arises in the case of the Bali bombing effect on the number of

Makalah ini sudah dipublikasikan pada 5th Biannual International Conference on Aceh and Indian Ocean Studies (ICAIOS) UIN Ar-Raniry Campus, Banda Aceh, November 17-18, 2014

tourist arrivals to Bali. One statistical method that can answer that question is the intervention analysis.

There are a lot of researches on the intervention analysis that have been conducted to evaluate the impact of an internal and/or external intervention. Until now, most researches on the intervention analysis related to the evaluation of a new policy in a certain field. Review of intervention analysis can be found in several time series books [2,3,6,7]. One of the main problems in modeling the intervention analysis is no standard procedure for building an intervention model, either on a single or multiple interventions (more than one type of intervention).

This paper will discuss the results of empirical studies on evaluating the impact of disasters on two real cases in Indonesia, namely the impact of the Lapindo mud on the volume of vehicles on the highway and the impact of the Bali bombing on the number of tourist arrivals.

II. INTERVENTIONMODEL

Generally, an intervention analysis is a special type of time series models that usually used to evaluate the impact of internal and/or external factors in time series. Studies using this intervention model for evaluating the impact of certain interventions are not new. Box and Tiao [8] were among the first researchers who used this intervention model for economics and environmental problems. Similarly, this model has also been applied to various problem domains such as transportation [9-15], business and economics [16-26], environmental management [8,27, 28], medical research [29-35], tourism [36-39], crime [40], and fisheries [41].

There are two common types of intervention, namely step and pulse functions. An intervention model can be written as

$$Y_t = \frac{\omega_s(B)B^b}{\delta_r(B)} X_t + \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)(1-B)^d} a_t, \qquad (1)$$

where Y_t is a response variable at time t and X_t is a binary indicator variable that shows the existence of an intervention at time t. X_t can be step function S_t or pulse function P_t. Then, $\omega_s(B)$ and $\delta_r(B)$ are defined as

$$\omega_s(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \cdots - \omega_s B^s,$$

and

$$\delta_r(B) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \cdots - \delta_r B^r.$$

Eq. (1) shows that the magnitude and period of intervention effect is given by *b*, *s*, and *r*. The delay time is shown by *b*, while *s* gives information about the time which is needed for an effect of intervention to be stable, and *r* shows the pattern of an intervention effect. The impact of an intervention model on a time series dataset (Y_t^*) is

$$Y_t^* = \frac{\omega_s(B)B^b}{\delta_r(B)} X_t. \qquad (2)$$

A step function is an intervention type which occurs over the long term. The intervention step function is written as [3]

$$S_t = \begin{cases} 0, & t < T \\ 1, & t \ge T, \end{cases} \qquad (3)$$

where the intervention starts at *T*. A step function single input intervention model with *b*=2, *s*=1, and *r*=1 can be obtained by substituting Eq. (3) into Eq. (1),

$$Y_t = \frac{(\omega_0 - \omega_1 B)B^2}{1-\delta_1 B} S_t + \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)(1-B)^d} a_t. \qquad (4)$$

Therefore, the effect of a step function single input intervention

$$Y_t^* = \frac{(\omega_0 - \omega_1 B)B^2}{1-\delta_1 B} S_t. \qquad (5)$$

If $|\delta_1| < 1$, we have

$$Y_t^* = \omega_0 S_{t-2} + (\omega_0\delta_1 - \omega_1)S_{t-3} + (\omega_0\delta_1{}^2 - \omega_1\delta_1)S_{t-4} + \cdots. \qquad (6)$$

The effect of an intervention's effect in Eq. (6) can also be written as

$$Y_t^* = \begin{cases} 0, & t < T+2 \\ \sum_{i=2}^{k} \omega_0 \delta_1^{i-2} - \sum_{j=3}^{k} \omega_1 \delta_1^{j-3}, & t = T+k,\ k \ge 2. \end{cases} \qquad (7)$$

An example of simulation for this intervention, with $\omega_0 = 25$, $\omega_1 = -10$, $\delta_1 = 0.5$ occurring at $t = 42$. This intervention starts affecting Y_t two periods after intervention occurred $(b = 2)$, with a magnitude of 25. Three periods after intervention, the value of Y_t becomes 47.5 and reaches 58.75 in the fourth period. This increase finally becomes permanent effect.

An intervention which occurs only at a certain time (*T*) is called pulse intervention. The pulse intervention function is written as

$$P_t = \begin{cases} 0, & t \ne T \\ 1, & t = T. \end{cases} \qquad (8)$$

An explanation of a single input intervention effect with pulse function can be done similarly to the step function intervention in Eq. (4)-(7). An example of simulation for a pulse single input intervention model $(b = 2, s = 1, r = 1)$ which the value of $\omega_0 = 25$, $\omega_1 = -10$, and $\delta_1 = 0.5$ showed the difference between step and pulse interventions and their effects. The effect of a step function is felt until $t > T$, where $T > 50$, while the pulse function has an impermanent effect, whereby for a certain *T*, the time series dataset will not affected by the intervention event.

Rezeki et al. [39] showed that the intervention response or Y_t^* is easily formulated using the response values chart for determining the order of intervention model using *b*, *s*, and *r*. The intervention response denoted as Y_t^* is basically residual or error which is the difference between the actual data and the ARIMA model forecasts based on the data before the intervention. A complete procedure of the intervention model building to evaluate *k* intervention functions at time, T_1, T_2, …, T_k, has been developed by Rezeki et al. [39] and Lee et al. [38].

This procedure is done iteratively until the last (k^{th}) intervention. As a result of these steps, eventually we would obtain the following multi input intervention model

$$Y_t = \sum_{j=1}^{k} \frac{\omega_{s_j}(B)B^{b_j}}{\delta_{r_j}(B)} X_{j,t} + \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)(1-B)^d} a_t. \quad (9)$$

III. RESULTS, ANALYSIS AND EVALUATION

All the results and models reported in this study were estimated using Statistical Analysis System (SAS) and the graphs were produced by MINITAB. The following sections will outline the empirical results of the intervention model for evaluating the impact of disasters on two real cases in Indonesia, namely the impact of the Lapindo mud on the volume of vehicles on the highway (as step function intervention) and the impact of the Bali bombing on the number of tourist arrivals (as pulse function intervention).

A. *Evaluation of the impact of the Lapindo mud disaster to the volume of vehicles on the toll road*

The number of traffic volume on the Waru-Gempol toll road from January 2000 until December 2007 is used in this first case study. Hence, there are 96 monthly records. Fig. 2 illustrates the mentioned data in a time series plot.

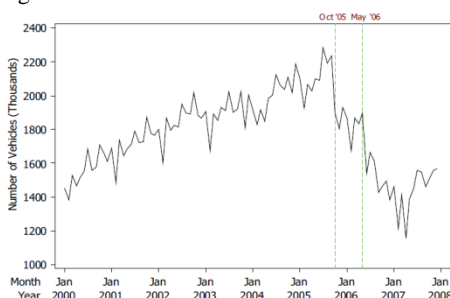



Fig. 2. Time series plot of the monthly vehicles volume from January 2000 – December 2007 at Waru-Gempol toll road.

During this time period, there are two interventions which may affect the vehicles volume on the toll road. These interventions are the new fuel tariff policy started from October 2005 ($t \geq 70$) and the Lapindo mud flood incident which occurred in May 2006 ($t \geq 77$). Both interventions are step function intervention variables. From the graph, we could see that the data declined directly and sharply on October 2005. It follows that the vehicles volume dropped again on June 2006 or delay a month after mud flood occured.

A.1. Pre-intervention model results

The Box-Jenkins procedure [7] is utilized, including identification, parameter estimation, diagnostic checking, and forecasting to find the best ARIMA model before the first intervention, i.e. new fuel tariff since October 2005. The identification step shows that the data is stationary in variance, but not stationary in mean (meaning, the data contain trend and seasonal pattern). Regular and seasonal order differencing is applied to get stationary data.

Both ACF and PACF plots cut off after lag 1, so there are 2 possible ARIMA models, i.e. ARIMA$(0,1,1)(0,1,0)^{12}$ and ARIMA$(1,1,0)(0,1,0)^{12}$. The comparison of RMSE shows that ARIMA $(0,1,1)(0,1,0)^{12}$ model yields less RMSE than ARIMA $(1,1,0)(0,1,0)^{12}$. Thus, based on RMSE the best ARIMA model for data before the first intervention is ARIMA $(0,1,1)(0,1,0)^{12}$, i.e.

$$Y_t = \frac{(1-0.6724B)}{(1-B)(1-B^{12})} a_t . \quad (10)$$

A.2. The first intervention model results

The results of the first step intervention modeling are calculated, namely the new fuel tariff since October 2005 which occurred at $T = 70$. The first step of modeling is to determine the order *b*, *s*, and *r* for the first step function intervention model. To determine the decrease due to new fuel tariff and to determine order of the first step function intervention model, a residual chart is shown in Fig. 3.

Based on Fig. 3, the appropriate order of the first step function intervention model is $b_1 = 0$, $s_1 = 0$, and $r_1 = 0$. It caused the residuals to remain constant, indicating a constant effect. The results of parameter estimation, significance test show that all model parameters are significant (at the 5% significance level). Diagnostic checking of the model shows that the first step function intervention model has satisfied the assumptions of white noise and normally distributed residuals.

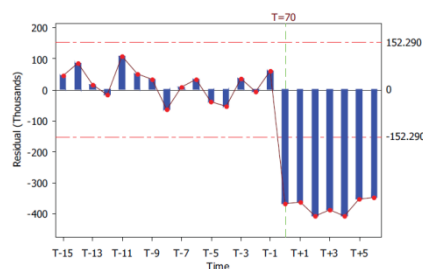



Fig. 3. Chart of response values of the amount of vehicles after the 1st intervention and prior to the 2nd intervention

The intervention model for the amount of vehicles on the toll road after the first step function intervention and prior to the second step function intervention can be written as

$$Y_t = -378189.9S1_t + \frac{(1-0.63307B)}{(1-B)(1-B^{12})}a_t. \quad (11)$$

A.3. The second intervention model results

After modeling the first intervention, i.e. the intervention model due to the new fuel tariff, analysis of the second step function intervention is conducted, namely the Lapindo mud flood since May 2006 which equates to $T=77$. The first step is to determine the order of the second intervention model. Fig. 4 shows a chart of residuals for determining the order *b*, *s*, and *r* for the intervention model, which will be used to model the decrease due to the Lapindo mud flood.

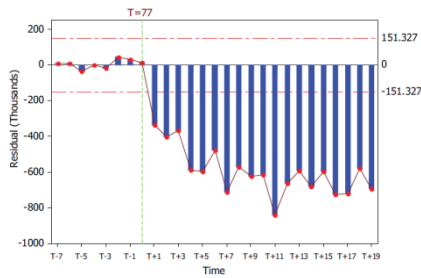



Fig. 4. Chart of response values of the amount of vehicles after the second intervention

Based on Fig. 4, there are two possible set orders of the second step function intervention model. The first set order is $b_2=1$, $s_2=1$, and $r_2=1$ and the second is $b_2=1$, $s_2=(3,6)$, and $r_2=0$. The results of parameter estimation and significance tests for the first and the second set of model orders show that all parameters of the intervention model are significant. Diagnostic checking shows that only the second set of model order yields residuals that satisfy the residual assumptions. Thus, we use the second intervention model to explain the effects of the Lapindo mud flood on the decrease of amount of vehicles on the toll road, i.e.

$$Y_t = -381263.1S1_t + \frac{(-370316.1B+233677.5B^2)}{(1-0.82344B)}S2_t + \frac{(1-0.73048B)}{(1-B)(1-B^{12})}a_t . \quad (12)$$

A residual plot from the second intervention model show that there is no residual which is out of the interval $\pm 4\hat{\sigma}$, although there is 1 residual out of the interval $\pm 3\hat{\sigma}$ (where $\hat{\sigma}$ is root of MSE). The next step is to evaluate the effects of the observation for which the residual is out of the $\pm 3\hat{\sigma}$ boundaries.

We can explain the presence of the residual which is out of the $\pm 3\hat{\sigma}$ interval, i.e. observation for April 2007. The reason why the data at April 2007 is out of the $\pm 3\hat{\sigma}$ interval is because the mud flood embankment near the Porong highway was broken. Hence, the mud flows to the Porong highway and caused the Porong highway to be closed for several days. This is an outlier event that can be categorized as a pulse function intervention. To determine the decrease due to the broken embankment, a pulse function intervention model with order $b_3=0$, $s_3=0$, and $r_3=0$ is employed. The results show that all parameters are significant and residual has satisfied the white noise and normal distribution assumptions.

In the previous section we showed that the predicted order of the second intervention model, i.e. $b_2=1$, $s_2=(3,6)$, and $r_2=0$, is the best model for explaining the effects of the second step function intervention. Therefore, the best multi input intervention model is a model with order $b_1=0$, $s_1=0$, and $r_1=0$ for explaining the impact of the first step function intervention ($S1_t$), the new fuel tariff, a model with order $b_2=1$, $s_2=(3,6)$, and $r_2=0$ for explaining the effect of the second step function intervention ($S2_t$), Lapindo mud flood, and a model with order $b_3=0$, $s_3=0$, and $r_3=0$ for explaining the impact of the pulse function intervention (P_t) in April 2007, and ARIMA(1,1,0)(0,1,0)[12] as the noise model. Hence, the best intervention model is written as

$$Y_t = -388512\,S1_t + (-387180.8B - 166275B^4 - 126029.3B^7)\,S2_t - 205549P_t + \frac{1}{(1+0.56475B)(1-B)(1-B^{12})}a_t. \quad (13)$$

A.4. Model evaluation

Evaluation of the impact of each intervention is done based on model in Eq. (13). The calculation of the first step function intervention effect for the new fuel tariff, i.e. at period *T*, *T*+1, *T*+2, until *T*+*k*, where $T=70$ and $k=8$ (October 2005, November 2005, December 2005, …, April 2006) is

$$Y^*_{T+k} = -388512\,S_{T+k} = -388512 . \quad (14)$$

This implies that the new fuel tariff caused the decrease of the monthly amount of vehicles passing through the

Waru-Gempol toll road by as many as 388512 vehicles. This decrease occurred after the new fuel tariff (October 2005) before the Lapindo mud flood happened in April 2006.

Based on the best intervention model in Eq. (13), the calculation of the Lapindo mud flood effect on the amount of vehicles is as follows.

- *Effect at period t = T = 77 (May 2006)*

The amount of the second intervention effect at $t = T$ is

$$Y_T^* = -388512\ S1_T + (-387180.8B - 166275B^4 - 126029.3B^7)S2_T$$

$$= -388512 . \qquad (15)$$

Eq. (15) implies that the Lapindo mud flood has not given any effect during the first month of the mud blast in May 2006. The explanation of this condition is because the mud blast occurred at the end of the month, i.e. on May 29, 2006. In this month, the decrease of 388512 vehicles is caused by the first step function intervention, i.e. the new fuel tariff.

- *Effects at periods t = T+1, T+2, and T+3 (June, July, and August 2006)*

The calculation of the amount of the second intervention effects on these 3 periods is

$$Y_{T+k}^* = -388512\,S1_{T+k} - 387180.8\,S2_{T+k-1} - 166275\,S2_{T+k-4} - 126029\,S2_{T+k-7}$$
$$= -775692.8 \text{ where } k = 1,2,3.$$

This result shows that the Lapindo mud flood has reduced the amount of vehicles traveling on the Waru-Gempol toll road as many as 387181 vehicles every month for 3 following months (June, July, and August 2006). This is because the Lapindo mud blast is near to the Porong toll road so that road users tend to pick alternative routes in order to reach Malang or Surabaya. Overall, the decrease of vehicle numbers due to the new fuel tariff and Lapindo mud flood is as many as 775693 vehicles in those months.

- *Effects at periods t = T+4, T+5, and T+6 (September, October, November 2006)*

The amount of the second intervention effects at $t = T+4, T+5,$ and $T+6$ is

$$Y_{T+k}^* = -388512\,S1_{T+k} - 387180.8\,S2_{T+k-1} - 166275\,S2_{T+k-4} - 126029\,S2_{T+k-7}$$
$$= -941967.8 \text{ where } k = 4,5,6.$$

These calculations imply that the Lapindo mud flood has reduced the vehicle numbers as many as 553456 vehicles every month for the 4th, 5th, and 6th months following to the month of the Lapindo mud blast (that is, September, October, and November 2006). The Lapindo mud flow started to reach and swamp the Porong toll road so that a single direction traffic system had to be applied to this toll road. This event and the previous new fuel tariff event made the decrease as many as 941968 vehicles in those months.

- *Effects at periods t = T+7 until T+k, where k=10 until the last observation, i.e. December 2007 (December 2006, January 2007, ... , December 2007)*

Calculation of the second intervention effects in these periods is

$$Y_{T+k}^* = -388512\,S1_{T+k} - 387180.8\,S2_{T+k-1} - 166275\,S2_{T+k-4} - 126029\,S2_{T+k-7}$$
$$= -1067996.8 \text{ where } k = 7,8,9.$$

This equation shows that the Lapindo mud flood reduced the number of vehicles in the Waru-Gempol toll road as many as 679485 vehicles in the 7th, 8th, and 9th months following to the month of the Lapindo mud blast (that is, December 2006, January and February 2007). This is because the permanent closure of the Porong-Gempol toll road since November 2006 led to the amount of vehicles passing through the Waru-Gempol toll road to be reduced. The reduction of vehicle numbers due to new fuel tariff and Lapindo mud flood in this period is as many as 1067997 vehicles.

Based on the intervention model given in Eq. (13), the calculation of the broken Lapindo mud embankment effect in April 2007 is

$$Y_T^* = -388512\,S1_T - 387180.8\,S2_{T-1} - 166275\,S2_{T-4}$$
$$-126029\,S2_{T-7} - 205549P_t$$
$$= -1067996.8 - 205549$$
$$= -1273545.8 \text{ where } T = 88 \text{ (April 2007)}.$$

This calculation shows that the broken mud embankment in April 2007 has reduced the number of vehicles passing through the Waru-Gempol toll road much more 205549 vehicles. This is because the condition of road in Porong was so poor that it could not be used by vehicles. Therefore, road users chose alternatives routes to Malang or Surabaya.

The reconstruction of the overall interventions model effects and the forecasts, including the first intervention $S1_t$ and the second intervention $S2_t$, and also the pulse function intervention P_t, can be seen in Fig. 5. This graph shows that the effect reconstruction for the intervention model yields prediction which is close to the actual data.

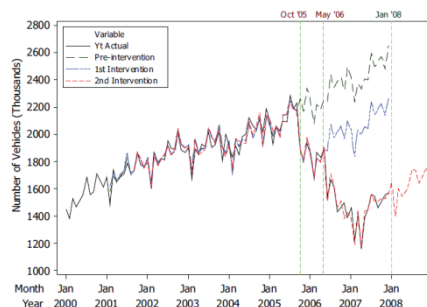



Fig. 5. Chart of the effect reconstruction and forecasts of the final intervention model

B. Evaluation of the impact of the Bali bombing on the number of tourists arrivals to Bali

The second case study is used the number of tourist arrivals in Bali from January 1989 until December 2009. The data are 252 monthly records of the arrivals. Fig. 6 illustrates the data in a time series plot.

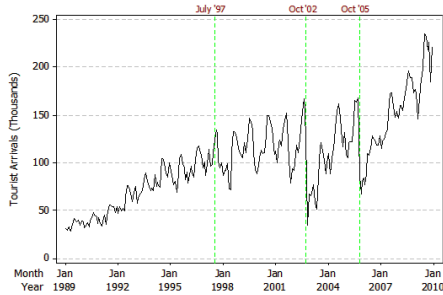



Fig. 6. Monthly tourist arrivals to Bali from January 1989 to December 2009

During this period, there were three interventions which may have affected the number of tourist arrival in Bali. These interventions are the Asian financial crisis which occurred from July 1997 until December 2009 [42] and the Bali bombings which occurred in October 12, 2002 and October 1, 2005. In this analysis, the Asian financial crisis is the step function intervention variable, whereas the Bali bombings are the pulse functions. From the graph, we could see that the data did not decline drammatically according to the period when the Asian financial crisis occured which was in July 1997. With that exception, the graph shows that the number of tourist arrivals dropped directly and dramatically during the first and second Bali bombings.

By applying the same procedure as in the previous case study, the best intervention model obtaining from this second data is

$$\ln Y_t = -0.13006 S_{1,t-10} + 0.16777 S_{1,t-13} - 0.41197 P_{2,t} - 1.12580 P_{2,t-1}$$

$$- 0.49669 P_{2,t-2} - 0.45215 P_{2,t-3} - 0.32306 P_{2,t-4} - 0.31957 P_{2,t-5}$$

$$- 0.56362 P_{2,t-6} - 0.67357 P_{2,t-7}$$

$$- 0.23740 P_{2,t-8} - 0.49181 P_{3,t}$$

$$- 0.57918 P_{3,t-1} - 0.43498 P_{3,t-2} - 0.28521 P_{3,t-3} - 0.32117 P_{3,t-4}$$

$$- 0.23120 P_{3,t-5} + \frac{(1-0.35355B)(1-0.72533B^{12})}{(1-B)(1-B^{12})} a_t , \qquad (16)$$

where $S_{1,t}$ the step function of the Asian financial crisis, $P_{2,t}$ is the pulse function of the first Bali bombing, and $P_{3,t}$ is the second Bali bombing.

In general, the calculation and interpretation of the impact of any interventions can be performed as in the first case study. The main difference is this second intervention model is in the transformation form, so the calculation of the impact of the intervention can not be directly and must be done at the original data unit. Thus, the appropriate transformation on the forecast data into original units must be done to give a proper interpretation of the magnitude of decreasing in the number of tourist arrivals to Bali as a result of these three interventions.

The effect from the reconstruction and the forecast of the final intervention model for transformation data (natural log data) are presented in Fig 7.

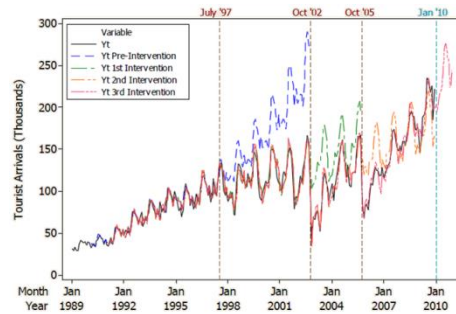



Fig. 7. Effect reconstruction and forecasts of the first, second and third intervention models (at original data)

IV. CONCLUSION

This paper has discussed the results of empirical study with two main cases, i.e. the evaluation of the impact of the Lapindo mud disaster to the decrease of the vehicles volume on the toll road, and the evaluation of the impact of the Bali bombing disaster to the decline in the number of tourist arrivals to Bali. These results indicate that the intervention model can work well and accurately reconstruct the magnitude and duration of the impact of a disaster on a time series data. Information about the magnitude and duration of the impact of a disaster is important for all parties involved, especially in case of a similar disaster in the future. By knowing the impact, it had expected to do better precaution if similar disasters happening again.

We recommend that the Indonesian government refer to the valuable data as the impact of these harrowing experiences and the after effect responses to these disasters in Indonesia as well as other countries. It is important that both tourism and transportation case studies could be used as a reference for crisis and disaster management in the future. There is a need for proper evaluations, pre-warnings and responses to disasters as these are important steps that may reduce the impact from such turmoil.

This paper has shown us the means to learn from history so that we know how to brace ourselves in preparation for unforeseen future disasters in. To recapitulate, this research shows that the interpretation of an intervention model for transformation data could not be done directly based on estimated model parameters. Further research is needed to understand the precise impact of the interventions on other forms of data transformation.

REFERENCES

[1] Makridakis, S., Wheelwright, S., and Hyndman, R.J., Forecasting: Methods and Applications, 3rd ed., New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

[2] Bowerman, B.L., O'Connell, R.T. and Koehler, A., Forecasting, Time Series and Regression: An Applied Approach, 4th ed., Belmont, California: Duxbury Press, 2004.

[3] Wei, W.W.S., Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods, 2nd ed., California: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 2006.

[4] Cryer, J.D. and Chan, K.S., Time Series Analysis with Applications in R, 2nd ed., New York: Springer, 2008.

[5] Hamilton, J.D., Time Series Analysis, New Jersey: Princeton University Press, 1994.

[6] Enders, W., Applied Econometric Time Series, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

[7] Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C., Time Series Analysis Forecasting and Control, 3rd ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.

[8] Box, G.E.P. and Tiao, G.C. (1975). Intervention Analysis with Applications to Economic and Environmental Problems. Journal of the American Statistical Association, 70, 70-79.

[9] Bhattacharyya, M.N. and Layton, A.P., "Effectiveness of Seat Belt Legislatiion on the Queensland Road Toll – An Australian Case Study in Intervention Analysis", Journal of the American Statistical Association, 74, 596-603, 1979.

[10] Atkins, M.S., "A Case Study on the Use of Intervention Analysis Applied to Traffic Accidents", Journal of the Operational Research Society, 30 (7), 651-659, 1979.

[11] Hilton, M.E., "The Impact of Recent Changes in California Drinking-Driving Laws on Fatal Accident Levels during the First Post intervention Year: An Interrupted Time Series Analysis", Law & Society Review, 18 (4), 605-627, 1984.

[12] Harvey, A. and Durbin, J., "The Effects of Seat Belt Legislation on British Road Casualties, Journal of the Royal Statistical Society, Series A, 149, 187-227, 1986.

[13] Murry, J.P., Stam, A., and Lastovicka, J.L., "Evaluating an Anti-Drinking and Driving Advertising Campaign With a Sample Survey and Time Series Intervention Analysis", Journal of the American Statistical Association, 88, 50-56, 1993.

[14] Ledolter, J. and Chan, K.S., " Evaluating the Impact of the 65-mph Maximum Speed Limit on Iowa Interstates", The American Statistician, 50 (1), 79-85, 1996.

[15] Sharma, P. and Khare, M., "Application of intervention analysis for assessing the effectiveness of CO pollution control legislation in India", Transportation Research Part D, 4, 427-432, 1999.

[16] McSweeny, A.J., " The Effects of Response Cost on the Behavior of a Million Persons: Charging for Directory Assistance in Cincinnati", Journal of Applied Behavioral Analysis, 11, 47-51, 1978.

[17] Montgomery, D.C. and Weatherby, G., "Modeling and Forecasting Time Series Using Transfer Function and Intervention Methods", AIIE Transactions, 12 (4), 289-307, 1980.

[18] Abraham, B., "Intervention analysis and multiple time series", Biometrika, 67 (1), 73-78, 1980.

[19] Van der Knoop, H.S. and Hooijmans, F.C., "A Multivariate Intervention Model for the Dutch Mint Circulation: Estimation and Monte Carlo Simulation", Journal of Business & Economic Statistics, 7 (2), 179-189, 1989.

[20] Enders, W., Sandler, T. and Cauley, J., "Assessing the impact of terrorist thwarting policies: An intervention time series approach", Defence and Peace Economics, 2 (1), 1-18, 1990.

[21] Bianchi, L., Jarrett, J. and Hanumara, R.C., "Improving forecasting for telemarketing centers by ARIMA modeling with intervention", International Journal of Forecasting, 14, 497-504, 1998.

[22] Gurrero, V.M., Pena, D., and Poncela, P., "Measuring Intervention Effects on Multiple Time Series Subjected to Linear Restrictions: A Banking Example", Journal of Business & Economic Statistics, 16 (4), 489-497, 1998.

[23] Leonard, M., "Promotional Analysis and Forecasting for Demand Planning: A Practical Time Series Approach", Cary, NC, USA: SAS Institute Inc., 2001.

[24] Valadkhani, A. and Layton, A.P., "Quantifying the effect of the GST on inflation in Australia's capital cities: an intervention analysis", Australian Economic Review, 37(2), 125-138, 2004.

[25] Goh, B.H., "The dynamic effects of the Asian financial crisis on construction demand and tender price levels in Singapore", Building and Environment, 40, 267-276, 2005.

[26] Lam, C.Y., Ip, W.H., and Lau, C.W., "A business process activity model and performance measurement using a time series ARIMA intervention analysis", Expert Systems with Applications, 36, 6986-6994, 2009.

[27] Chang, N.B. and Lin, Y.T., "An analysis of recycling impacts on solid waste generation by time series intervention modeling", Resources, Conservation and Recycling, 19, 165-186, 1997.

[28] Jorquera, H., Palma, W., and Tapia, J., "An intervention analysis of air quality data at Santiago, Chile", Atmospheric Environment, 34, 4073-4084, 2000.

[29] Gordon, K. and Smith, A.F.M., "Modeling and Monitoring Biomedical Time Series", Journal of the American Statistical Association, 85, 328-337, 1990.

[30] Goldschmidt, H.M.J., Ten Voorde, L.J.F., Leijten, J.F., and Lent, R.W., "Intervention Time Series Analysis – Sampling Strategies", Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 9, 83-94, 1990.

[31] Helfenstein, U., "The Use of Transfer Function Models, Intervention Analysis and Related Time Series Methods in Epidemiology", International Journal of Epidemiology, 20 (3), 808-815, 1991.

[32] Girard, D.Z., "Intervention time series analysis of pertussis vaccination in England and Wales", Health Policy, 54, 13-25, 2000.

[33] Perez, A., Dennis, R.J., Rodriguez, B., Castro, A.Y, Delgado, V., Lozano, J.M., and Castro, M.C., "An interrupted time series analysis of parenteral antibiotic use in Colombia", Journal of Clinical Epidemiology, 56, 1013-1020, 2003.

[34]. Mahamat, A., MacKenzie, F.M., Brooker, K., Monnet, D.L., Daures, J.P., and Gould, I.M., "Impact of infection control interventions and antibiotic use on hospital MRSA: a multivariate interrupted time-series analysis", International Journal of Antimicrobial Agents, 30, 169-176, 2007.

[35] Zhang, F., Wagner, A.K., Soumerai, S.B, and Degnan, D.R., "Methods for estimating confidence intervals in interrupted time series analyses of health interventions", Journal of Clinical Epidemiology, 62, 143-148, 2009.

[36] Goh, C. and Law, R., "Modeling and forecasting tourism demand for arrivals with stochastic nonstationary seasonality and intervention", Tourism Management, 23, 499-510, 2002.

[37] Ismail, Z., Suhartono, Yahaya, A., and Efendi, R., "Intervention Model for Analyzing the Impact of Terrorism to Tourism Industry", Journal of Mathematics and Statistics, 5 (4), 322-329, 2009.

[38] Lee, M.H., Suhartono and Sanugi, B. "Multi Input Intervention Model for Evaluating the Impact of the Asian Crisis and Terrorist Attacks on Tourist Arrivals", Matematika, 26(1), 83 – 106, 2010.

[39] Rezeki, S., Suhartono and Suyadi, "Multi input intervention model for analyzing the impact of the Asian crisis and terrorist attacks on tourist arrivals in Bali", Applied Mathematical Sciences, Vol. 7, no. 135, 6715-6727, 2013.

[40] Sridharan, S., Vujic, S., and Koopman, S.J., "Intervention time series analysis of crime rates: the impact of sentence reforms in Virginia", Tinbergen Institute Discussion Paper, TI 2003-040/4, 2003.

[41] Fogarty, M.J. and Miller, T.J., "Impact of a change in reporting systems in the Maryland blue crab fishery", Fisheries Research, 68, 37-43, 2004.

[42] Prideaux, B., Laws, E., and Faulkner, B., "Events in Indonesia: exploring the limits to formal tourism trends forecasting methods in complex crisis situations", Tourism Management, 24, 475-487, 2003.

14 Teknologi Sederhana pada Penyediaan Sarana Air Minum dan Sanitasi Pasca Bencana

Ali Masduqi
Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
Email: masduqi@its.ac.id

Abstrak - *Sarana dan prasarana air minum dan sanitasi merupakan kebutuhan dasar manusia, baik pada kondisi normal maupun pada saat bencana. Penyediaan sarana dan prasarana air minum dan sanitasi perlu mendapat perhatian khusus pada kegiatan penanggulangan bencana, khususnya pada tahap tanggap darurat dan pasca bencana. Keterbatasan penyediaan air minum dapat meningkatkan terjadinya berbagai kasus penyakit, seperti diare dan penyakit kulit. Dalam suasana yang tidak normal, pemenuhan kebutuhan dasar juga tidak bisa berjalan normal. Oleh karena itu solusi yang tepat dalam pemenuhan kebutuhan air minum dan sanitasi harus segera ditemukan sesuai dengan karakteristik wilayah dan bentuk bencananya. Pemilihan teknologi tepat guna untuk penyediaan air minum dan sanitasi harus mempertimbangkan sumber air baku, sumber energi, dan sumberdaya manusia. Penentuan jumlah dan jarak sarana air minum dan sanitasi harus mempertimbangkan kriteria tentang jumlah pengguna per sarana dan lokasi yang tidak jauh dari tempat tinggal atau pengungsian..*

Kata Kunci *: penanggulangan bencana, sarana air minum, sarana sanitasi, teknologi tepat guna..*

I. PENDAHULUAN

Bencana alam berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah langsor, sering mengakibatkan risiko bencana pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat.

Setiap bencana alam akan menimbulkan besaran dan durasi dampak yang berbeda. Bencana berupa gempa bumi, tsunami, angin topan, tanah longsor biasanya berlangsung singkat, namun dampak yang ditimbulkan sangat dahsyat dalam merusak infrastruktur lingkungan permukiman. Gunung meletus, banjir, dan kekeringan pada umumnya berlangsung lebih lama, dengan dampak yang juga bisa lebih dahsyat.

Risiko bencana alam berupa kerusakan rumah tinggal dan prasarana penting lainnya menyebabkan masyarakat terpaksa mengungsi di tempat pengungsian. Salah satu bentuk kebutuhan dasar bagi masyarakat di pengungsian adalah air minum (Indriatmoko dan Widayat, 2007). Kerusakan sarana dan prasarana air minum, baik berupa sistem perpipaan (termasuk instalasi pengolahan) maupun sistem non-perpipaan menyebabkan kebutuhan dasar ini, baik di wilayah permukiman maupun pengungsian, menjadi terbatas.

Untuk meminimumkan risiko tersebut, setelah kejadian bencana segera ditetapkan tahap tanggap darurat yang meliputi (UU RI Nomor 24 tahun 2007):

a. pengkajian secara cepat dan tepat terhadap lokasi, kerusakan, dan sumber daya;
b. penentuan status keadaan darurat bencana;
c. penyelamatan dan evakuasi masyarakat terkena bencana;
d. pemenuhan kebutuhan dasar;
e. pelindungan terhadap kelompok rentan; dan
f. pemulihan dengan segera prasarana dan sarana vital.

Pengkajian secara cepat dan tepat dilakukan untuk mengidentifikasi:

a. cakupan lokasi bencana;
b. jumlah korban;
c. kerusakan prasarana dan sarana;

Makalah ini sudah dipublikasikan pada Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XI – ITS, Surabaya, 3 Desember 2014

d. gangguan terhadap fungsi pelayanan umum serta pemerintahan; dan
e. kemampuan sumber daya alam maupun buatan.

Pemenuhan kebutuhan dasar meliputi bantuan penyediaan:

a. kebutuhan air bersih dan sanitasi;
b. pangan;
c. sandang;
d. pelayanan kesehatan;
e. pelayanan psikososial; dan
f. penampungan dan tempat hunian.

Penyediaan sarana dan prasarana air minum dan sanitasi perlu mendapat perhatian khusus pada kegiatan penanggulangan bencana, khususnya pada tahap tanggap darurat dan pasca bencana. Perhatian khusus perlu diberikan karena bencana mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Rusaknya sarana dan prasarana air minum dan sanitasi menyebabkan terganggunya pemenuhan kebutuhan dasar manusia.

Keterbatasan penyediaan air minum dapat meningkatkan terjadinya berbagai kasus penyakit, seperti diare dan penyakit kulit. Makin lama durasi kondisi darurat ini, makin besar frekuensi dan kualitas kejadian kasus penyakit yang berhubungan dengan sanitasi. Sarana dan prasarana air minum dan sanitasi merupakan kebutuhan dasar manusia, baik pada kondisi normal maupun pada saat bencana.

Pada tahap tanggap darurat dan pasca bencana tidak bisa dihindari munculnya pengungsi yang tinggal di tempat-tempat penampungan untuk waktu yang tidak bisa dipastikan. Pada saat itulah diperlukan sarana dan prasarana air minum dan sanitasi untuk keberlangsungan hidup para pengungsi. Dalam suasana yang tidak normal, pemenuhan kebutuhan dasar juga tidak bisa berjalan normal. Oleh karena itu solusi yang tepat dalam pemenuhan kebutuhan air minum dan sanitasi harus segera ditemukan sesuai dengan karakteristik wilayah dan bentuk bencananya.

Mengingat dampak yang ditimbulkan oleh kejadian bencana dan pentingnya air minum dan sanitasi bagi kelangsungan hidup masyarakat terdampak bencana, maka perlu dipikirkan model teknologi penyediaan air minum dan sanitasi sederhana yang memungkinkan dioperasikan di wilayah terdampak bencana alam. Makalah ini menguraikan berbagai teknologi sederhana atau tepat guna yang dapat diterapkan di wilayah bencana atau tempat pengungsian.

2. Teknologi Sederhana

Kata “teknologi” dan “sederhana” sering dihadapkan secara dikotomis. Kata “teknologi” sering dipahami sebagai penggunaan peralatan yang rumit dan tidak sederhana, sementara kata “sederhana” sering digunakan untuk menyatakan kondisi yang tidak rumit dan tidak menggunakan teknologi. Lalu, bagaimana bila dua kata itu disandingkan, maka segera yang terbayang adalah penyederhanaan sesuatu yang pada mularnya rumit hingga menjadi mudah dan dapat dioperasikan oleh masyarakat umum. Selanjutnya diperkenalkan istilah “teknologi tepat guna” yang merupakan terjemahan dari *appropriate technology*. Beberapa istilah yang juga digunakan untuk mensifati teknologi tepat guna adalah (Evans, 1984):.

- *Capital-saving technology*
- *Labor-intensive technology*
- *Alternate technology*
- *Self-help technology*
- *Village-level technology*
- *Community technology*
- *Progressive technology*
- *Indigenous technology*
- *People’s technology*
- *Light-engineering technology*
- *Adaptive technology*
- *Light-capital technology*
- *Soft technology*

3. Teknologi Pasca Bencana

A. Kriteria Teknologi

Pemilihan teknologi air minum dan sanitasi yang akan diterapkan pada daerah terdampak bencana pada tahap tanggap darurat maupun pasca bencana harus mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

a. Teknologi tepat guna yang mudah dioperasikan oleh masyarakat
b. Teknologi cukup toleran terhadap kondisi yang fluktuatif
c. Konfigurasi peralatan yang mudah disesuaikan dengan kondisi daerah
d. Peralatan mudah dipindahkan
e. Peralatan cukup handal dan tidak mudah rusak akibat goncangan
f. Penggunaan bahan kimia sebaiknya dihindarkan

B. Teknologi Air Minum

Ada kekhususan daerah pasca bencana dibandingkan dengan daerah normal, yaitu:

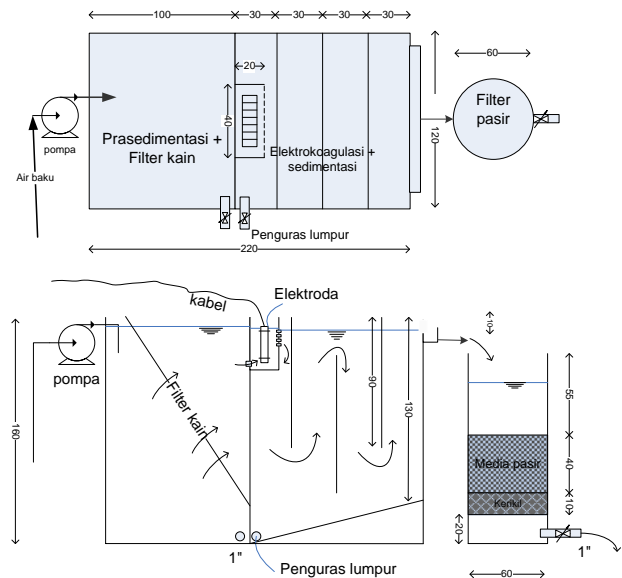
1. Sumber air baku:
    - Pada bencana kekeringan, sumber air tidak tersedia, maka harus mencari sumber air di daerah lain.
    - Pada bencana banjir, biasanya air sangat keruh, masih mungkin diolah menjadi air bersih.
    - Pada bencana gempa bumi, gunung meletus, dan tanah longsor.
2. Sumber energi:
    - Harus disediakan sumber energi alternatif, seperti genset atau diesel, karena kemungkinan sarana listrik terjadi kerusakan.
3. Sumber daya manusia:
    - Masyarakat terkena bencana sudah cukup menderita, jangan diminta mengoperasikan peralatan yang memerlukan pembelajaran terlebih dahulu.

Berikut ini adalah beberapa teknologi penyediaan air minum yang sudah dirancang dan dioperasikan di wilayah terdampak bencana (Masduqi dan Assomadi, 2012).

Mobile WTP

Disain IPA ini dibuat oleh Dinas Permukiman Provinsi Jawa Timur pada Tahun 2009 dengan sasaran untuk mengolah air pada wilayah banjir. Kapasitas IPA adalah 1 L/detik. Unit IPA terdiri atas unit-unit:

- Pompa air baku
- Pengendapan lumpur
- Filter kain
- Elektrokoagulasi
- Flokulasi
- Sedimentasi
- Filter pasir cepat
- Penampung air bersih

Rancangan instalasi berukuran total 100 x 250 cm yang mampu mengolah air baku dengan kandungan pengotor fisik, tetapi tidak mampu mengolah air baku yang terdapat kandungan bahan terlarut atau bahan organik. Disain *Mobile Water Treament Plant* dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 Disain *Mobile WTP* kapasitas 1 L/detik

IPA Rekadaya Teknik Mandiri

PT Rekadaya Teknik Mandiri merupakan perusahaan yang memberikan layanan jasa pembuatan *Mobile Water Treatment* (WTP) dengan kapasitas air bersih 5 liter/detik dengan sistem *high velocity sedimentation* atau dengan sistem membran. WTP ini dapat dipasang di atas truk sehingga bersifat mobile ke tempat-tempat yang memerlukan. Cocok untuk daerah bencana atau lembaga yang mempunyai misi bantuan sosial. Contoh hasil rancangan perusahaan ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Mobile Unit Departemen PU

Mobile Unit adalah suatu instalasi pengolahan air bersih dengan sistem mobile. Sistem ini dapat dipindah-pindahkan yang terdiri atas:

- kendaraan truk mini
- unit pengolahan
- generator set

Ketiga unit tersebut merupakan satu kesatuan.

Kapasitas instalasi pengolahan air bersih ini sistem mobile ini adalah 0,5 L/detik (1800 L/jam). Instalasi pengolahan diletakkan di atas mobil truk mini dengan perlengkapan sebagai berikut (lihat Gambar 3):

- 1 buah pompa intake
- 5 buah pompa kimia
- 5 buah tangki atai bak kimia
- 1 buah diesel genset dengan daya 1,4 kW
- 1 unit panel listrik
- 1 unit pengaduk cepat

- 1 unit pengaduk lambat terdiri dari 6 tabung aliran dari atas ke bawah
- 1 unit bak pengendap yang dilengkapi dengan pelat pengendapan
- 1 buah pompa untuk filter bertekanan dan distribusi
- 1 buah tangki penyaring
- 2 buah tangki penukar ion (kation dan anion)

Dimensi pengolahan adalah:

- Tinggi : 1600 mm
- Lebar : 1300 mm
- Panjang : 1700 mm

Gambar 2
Foto unit pengolahan Rekadaya Teknik Mandiri

Gambar 3
Foto unit pengolahan Departemen PU

C. Teknologi Sanitasi

Sarana sanitasi dasar yang penting di daerah pasca bencana adalah toilet atau jamban. Jumlah jamban harus cukup dan jaraknya tidak jauh dari tempat tinggal mereka, supaya bisa diakses secara mudah dan cepat kapan saja diperlukan, siang ataupun malam. Berikut ini adalah kriteria penyediaan sarana sanitasi (Kesehatan Lingkungan, 2013):

- Tiap jamban digunakan paling banyak 20 orang
- Penggunaan jamban diatur perumah tangga dan/menurut pembedaan jenis kelamin
- Jarak jamban tidak lebih dari 50 meter dari pemukiman (rumah atau barak di kamp pengungsian) atau waktu tempuh tidak lebih dari 1 menit dengan berjalan kaki.
- Jamban umum tersedia di tempat–tempat seperti pasar, titik-titik pembagian sembako, pusat-pusat layanan kesehatan dsb.
- Letak jamban dan penampung kotoran harus sekurang-kurangnya berjarak 30 meter dari sumber air bawah tanah.
- Dasar penampung kotoran sedikitnya 1,5 meter di atas air tanah.
- Pembuangan limbah cair dari jamban tidak merembes ke sumber air mana pun, baik sumur maupun mata air, suangai, dan sebagainya 1 (satu) Latrin/jaga untuk 6–10 orang

Saat ini banyak diproduksi toilet *portable* (lihat Gambar 4) yang bisa ditempatkan pada lokasi-lokasi yang sesuai dengan kriteria di atas. Syarat utama dari penempatan toilet ini adalah ketersediaan air bersih mutlak harus ada.

Gambar 4 Foto mobile toilet
(sumber:toiletportable.thetrekkers.com, toiletbiotech.blogspot.com)

4. SIMPULAN

Pemilihan teknologi tepat guna untuk penyediaan air minum harus mempertimbangkan sumber air baku, sumber energi, dan sumberdaya manusia. Pemilihan teknologi tepat guna untuk penyediaan sanitasi sanitasi harus mempertimbangkan kriteria tentang jumlah pengguna per sarana dan lokasi yang tidak jauh dari tempat tinggal atau pengungsian. Prinsip dari teknologi air minum dan sanitasi di daerah terdampak bencana adalah membantu korban bencana tanpa menyusahkan mereka.

5. Pustaka

Evans, D.D. (1984). In Ghosh, P.K. *Appropriate Technology in Third World Development*. London: Greenwood Press.

Indriatmoko, R. H. dan Widayat, W., (2007). Penyediaan Air Siap Minum pada Situasi Tanggap Darurat Bencana Alam. *JAI*, 3(1): p. 29-37.

Kesehatan Lingkungan (2013). http://inspeksisanitasi.blogspot.com/2009/07/sanitasi-darurat-pada-daerah-bencana.html, akses tanggal 29 November 2014.

Masduqi, A. dan Assomadi, A. F., (2012) *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. ITS Press, Surabaya.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.

15 Metode Penanganan Semburan Lumpur dari Dekat Sumur Bor Gas Banjar Panji I di Sidoarjo Propinsi Jawa Timur

Tontowi Ismail
Jurusan Teknik Kimia, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
Email: iwotnot@yahoo.com

Abstrak - *Semburan lumpur yang berasal dari dekat pengeboran sumur gas Banjar Panji 1 di Kabupaten Sidoarjo di Provinsi Jawa Timur, sejak 29 Mei 2006 telah terakumulasi pada kolam besar yang dikelilingi oleh tanggul sirtu. Lumpur itu diperkirakan mengalir dengan laju 120000m3 / hari, dan mengandung padatan 210-270 kg/m3. Upaya untuk mengalirkan akumulasi lumpur dari kolam ke Kali Porong masih memiliki beberapa masalah. Penelitian karakter lumpur telah dilakukan diantaranya densitas, viskositas, sifat aliran, padatan dan kadar air. Sebuah pompa sentrifugal memiliki kapasitas 0,6 m3/detik bersama dengan pipa transmisi diameter 18 inci dan panjang 1.600 m telah dipasang. Selama lumpur mengalir dari pusat semburan lumpur ke sekitar lokasi, air terpisahkan dari lumpur, dan air masih mengandung 61 kg solid/m3. Air berlumpur masih memerlukan pengenceran untuk dapat dialirkan dengan mudah. Air yang keluar dari pipa outlet hasil pemompaan ke sungai masih mengandung padatan 39 kg/m3. Dilain pihak ancaman penyumbatan telah terjadi baik di jalur pipa dan di pompa. Efisiensi pompa hanya 8- 12%. Sebenarnya, terdapat air bebas padatan terakumulasi di kolam yang lebih dangkal. Disarankan bahwa upaya untuk memompa lumpur dari kolam ke sungai harus dihentikan dan harus diubah untuk memompa air bersih bebas padatan, sehingga ancaman over topping di tanggul dan pendangkalan sungai yang menyebabkanbanjir dapat dihindari. Ketika akumulasi lumpur baru membutuhan tambahan area, zona timur kolam harus diperluas. Semua saluran untuk aliran lumpur yang diarahkan ke kolam selatan dan barat harus ditutup.*

Kata Kunci *: Aliran lumpur, karakteristik lumpur, mud vulcano, pompa ke sungai Porong..*

PENDAHULUAN

Banjar Panji I (BJP-1) adalah sebuah sumur eksplorasi yang terletak di Kabupaten Sidoarjo yang dilaksanakan untuk menentukan kelayakan eksploitasi kaya atau tidaknya kandungan gas alam (bernama 'Kujung' formasi). PT. Lapindo Brantas adalah perusahaan yang bertanggung jawab untuk melaksanakan kegiatan eksplorasi itu. Sumur telah mencapai kedalaman lebih dari 3.000 m ketika tiga semburan lumpur yang berbeda lokasi muncul. Yang pertama dan terbesar terjadi pada tanggal 29 Mei 2006 di pagi hari, terletak 100 sampai 150 m ke barat daya dari sumur pengeboran. Pada 1 Juni 2006, letusan kedua muncul di sawah dekat jalan tol Surabaya-Malang (Km 38). Lubang kedua terletak sekitar 500 m dari BJP-1in diseberang jalan tol. Sementara hari berikutnya, 2 Juni 2006, emisi lumpur ketiga muncul di dekat rumah tinggal Desa Balongbendo, sekitar 800 sampai 1000 m timur laut dari pengeboran sumur gas. Rupanya lubang no 2 dan 3 berhenti mengalir pada tanggal 5 Juni 2006, lubang no 1 terus menerus aktif dengan laju yang terus bertambah (laporan teknis PBB). Penyebab pasti terjadinya semburan lumpur tersebut belum diketahui, menurut pendapat para ahli letusan gunung disebabkan oleh runtuhnya dinding formasi di dalam sumur eksplorasi BJP-1. Sejak itu, lumpur mulai mengganggu rumah-rumah di Jatirejo, desa terdekat dari lumpur emisi terbesar. Pada minggu kedua Juni, lumpur dengan cepat menelan sebagian besar desa dan juga mengalir ke sawah desa-desa sekitarnya. Tanggul telah dibangun untuk mencegah lumpur agar tidak meluap ke daerah-daerah yang tidak diinginkan. Namun, pada akhir minggu saat itu lumpur di sawah telah overtopped ke jalan tol untuk pertama kalinya disekitar kilometer 38 di desa Renokenongo. Jalan tol satu-satunya cara tercepat yang menghubungkan Surabaya ke kota-kota selatan dan timur Jawa Timur, seperti Malang, Pasuruan, Probolinggo, Jember, Banyuwangi dll. Sebagian besar industri produk untuk ekspor dari pabrik-pabrik di daerah tersebut dikirim ke pelabuhan Tanjung Perak di Surabaya, melalui jalan tol ini. Masalah lain yang disebabkan oleh lumpur adalah kontaminasi air

permukaan dan saluran irigasi, sehingga sebagian besar sawah di seluruh desa disebelah timur masing-masing menjadi tidak berguna. Lumpur panas adalah penyebab utama kerusakan pohon dan tanaman di sepanjang jalur tersebut. Para penduduk desa sangat kecewa dan marah karena mereka harus mengungsi dari rumah mereka.

Volume lumpur yang dipancarkan sejak 29 Mei telah dihitung oleh Lapindo Brantas pada tanggal 21 Juni, berdasarkan luas permukaan dan pengukuran kedalaman dengan menggunakan GPS. Volume lumpur diperkirakan 1,2 juta m3. Kedalaman lumpur itu berkisar 3,5 hingga 6,4 meter di sekitar lumpur yang dipancarkan, dan 0,1 hingga 0,6 meter di tepi zona banjir. Meskipun aliran tersebut tidak terus-menerus, rata-rata volume lumpur yang dipancarkan intermiten selama periode yang diperkirakan lebih dari 40000 m3 hari / dan suhu lumpur mencapai 100oC. Berdasarkan pendapat beberapa ahli geologi, semburan lumpur berasal dari sebuah fenomena geologis yang dikenal sebagai gunung berapi lumpur (Mud Vulcano). Lumpur gunung berapi sering dikaitkan dengan simpanan minyak bumi. Pada tanggal 4 Juli 2006, lumpur mulai meluap ke desa-desa yang berdekatan seperti Renokenongo, Siring, Jatirejo dan Kedungbendo. Jumlah pengungsi telah sampai 6915 (1788 rumah tangga). Keberadaan tanggul tidak cukup stabil untuk membendung lumpur, sejak semburan lumpur meningkat hampir 100.000 m3 per hari. Dalam beberapa kesempatan, aliran lumpur tampak sangat kuat dengan letusan lumpur tinggi ke udara. Pada saat itu diyakini bahwa laju aliran lumpur melebihi 150.000 m3 per hari.

Tanggap darurat

Upaya awal untuk mengatasi masalah lumpur Sidoarjo telah dibuat oleh Pemerintah telah melakukan beberapa usaha, yaitu:

1. Memindahkan pemukiman penduduk yang terancam genangan lumpur
2. Menyumbat sumber lumpur dengan metode *relief-well*
3. Pembangunan tanggul untu menampung lumpur di daerah yang telah ditentukan,
4. Mempertahankan penggunaan jalur kereta api dan jalan arteri Surabaya - Gempol
5. Pemompaan kelebihan lumpur melalui pipa ke Sungai Porong.

Sebagian besar dari upaya ini tidak berhasil, misalnya:

Saat itu di bulan September 2006, ketika pipa gas meledak, jalan tol benar-benar rusak dan tidak dapat dilalui, menjadikan penggunaan rel kereta api dan jalan arteri sepanjang segmen Surabaya - Malang harus dipertahankan.

Upaya untuk menutup sumber lumpur menggunakan metode *relief-well* dari kejauhan tampak menjanjikan. Namun upaya ini kemudian dibatalkan karena semua lahan yang tersedia telah terendam di bawah lumpur panas dan terlalu berbahaya bagi operator untuk bekerja. Program untuk memindahkan pemukiman untuk pengungsi kembali masih banyak masalah baik sosial dan keuangan.

Pada bulan April 2007, sebuah organisasi khusus telah dibentuk oleh Pemerintah di Jakarta untuk mengkoordinasikan semua upaya untuk mengelola masalah semburan lumpur, organisasi ini adalah Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS).

Memompa lumpur ke Kali Porong

Sudah tentu lumpur dari titik emisi akan cenderung mengalir ke timur dan ke arah timur-laut, yaitu ke daerah yang lebih rendah menuju rawa-rawa dan kawasan pesisir. Menurut BPLS, sekitar 70% dari lumpur telah mengarah ke utara dan sisanya mengarah ke daerah selatan. Jarak ke daerah pesisir dari lumpur letusan sekitar 18 km.Usaha untuk melindungi jalan tol ada Surabaya - Malang, jalan arteri dan kereta api, desa-desa, dan fasilitas publik dari ancaman aliran lumpur *over-topping* pada tanggul, Pemerintah Indonesia memutuskan untuk mengalirkan kelebihan lumpur ke Kali Porong di sisi selatan semburan yang terletak sekitar 2 km. Dari awal, upaya untuk mengarahkan aliran lumpur ke arah selatan menuju Kali Porong mengalami kesulitan, karena daerah selatan lebih tinggi dari pusat emisi lumpur. Lumpur terlalu kental untuk mengalir, sehingga 'Traktor harus dipasang diatas ponton' untuk mendorong lumpur keselatan. Sementara lumpur kemudian mengalir ke arah selatan, tanggul harus dibangun di sepanjang barat, utara, sisi timur untuk menjaga akumulasi lumpur di kolam besar. Akibatnya beberapa desa (Siring Timur, Jatirejo Timur, Jatianom, Pajarakan, Kedungbendo, Renokenongo) harus dikorbankan untuk menjadi kolam lumpur. Tanggul di bagian dari bagian selatan harus dibangun untuk melindungi desa Besuki, Kedung Cangkring dan Mindi dari lumpur. Sebuah tanggul cincin yang berada di mengitari titik letusan lumpur dilengkapi dengan saluran khusus dan serangkaian excavator panjang sebagai upaya tambahan untuk memaksa lumpur yang baru tersembur ke arah selatan

dibangun. Di ujung selatan saluran ditepi Kali Porong, dibangun rumah pompa khusus untuk memompa lumpur ke sungai. Namun, lumpur tidak mudah dipompa langsung karena sifatnya sangat kental. Untuk maksud tersebut, diperlukan banyak air untuk mengencerkan lumpur. Meskipun hanya sebagian dari lumpur bisa dipompa, sebagai akibatnya Kali Porong secara bertahap dipenuhi endapan lumpur ke tingkat berbahaya. Lumpur yang terakumulasi di sungai selama musim kemarau tidak bisa mengalir ke laut, karena Kali Porong hampir tidak ada air selama musim kering, sebagian besar air dari bagian hulu Sungai Brantas dialirkan ke Surabaya dan untuk irigasi. Kondisi ini dapat menyebabkan banjir pada musim hujan, karena kapasitas sungai tidak lagi mampu menampung aliran air. Untungnya, pemerintah segera setelah itu mengirim beberapa kapal keruk dan peralatan pengerukan untuk memecah endapan lumpur di sepanjang sungai selama musim hujan saat itu. Semua insiden itu terjadi sampai awal 2009.

Selama 2009 situasi di daerah semburan lumpur Sidoarjo tidak berubah secara signifikan. Endapan lumpur di desa-desa terlanda aliran lumpur telah menjadi kering. Ketinggian permukaan lumpur di daerah bagian selatan terangkat, di sisi lain di wilayah utara yang relatif konstan atau bahkan menurun karena penurunan tanah.Tanggul cincin di letusan lumpur terganggu dan usaha untuk mengalirkan lumpur ke selatan menjadi sulit. Usaha alternatif kemudian dilakukan oleh operator. Empat kapal keruk masing-masing dilengkapi dengan pompa dipasang di dua lokasi, dua di sebelah baratdaya (ttk 25) dan yang dua lainnya di sisi tenggara (ttk 43) dari pusat semburan. Pompa sentrifugal yang terpasang mempunyai kapasitas masing-masing 0,6 m3 per detik (51.840 m3/hari; 2160 m3/jam), dengan tenaga 1250 Hp. Pipa transmisi berdiameter 18 inch dan panjang sekitar 1.600 m ke sungai dipasang. Saluran lumpur dari pusat semburan menuju ke dua lokasi pompa pun diadakan. Pompa air lengkap dengan fasilitas injeksi untuk mengencerkan lumpur disediakan.

Metoda pengamatan karakter aliran lumpur

Untuk menangani pengaliran lumpur yang efektif, diperlukan pemahaman sifat materialnya. Lumpur segar yang keluar dari emisi lumpur utama dan distribusi aliran lumpur ke daerah sekitarnya dipelajari, terutama untuk kandungan air dan kandungan padatannya. Lumpur dievaluasi untuk komposisi kimia, sifat fisika dan rheologinya. Selain itu, lokasi pompa, kondisi *pump-pit*, kinerja pompa dan pipa transmisi, kandungan padatan dan air dalam lumpur di *pump-pit* sampai keluar pipa di Kali Porong juga diamati selama penelitian.

Sistem pemompaan lumpur

Komposisi padatan (% berat) dalam lumpur adalah SiO_2 53,08; Al_2O_3 18,27; Fe_2O_3 5,6; Na_2O_3 2,97; MgO 2,89; SO_2 2,96; CaO 2,07; K_2O 1,44; TiO O.57 dan hilang pijar 10,57. Komposisi lumpur terdiri dari partikel padat (%berat) : 86,91% berdiameter kurang dari 0.063 mm; 3,95% 0,063-0,21 mm; 4,85% 0,21-1,00 mm; 1,94% 1 - 2 mm dan 2,35 lebih dari 2mm. Lumpur memiliki sifat kohesive dan adesive yang membuatnya tidak mudah mengalir. Karakteristik lumpur ini sangat tergantung pada konsentrasi padatannya di lumpur. Makin encer lumpur akan lebih mudah mengalir.

Pada Februari 2010 Laju aliran lumpur pada sumbernya kira-kira adalah 120.000 m3 per hari dan konsentrasi padatan dalam lumpur tersebut 210-270 kg/m^3. Aliran lumpur telah menyebar di sekitar lokasi dari pusat emisi, mengakibatkan pengendapan lumpur dan tinggi permukaan tanah disekitarnya, sedangkan air yang terpisah dari lumpur ini terus mengalir ke arah tempat-tempat yang lebih rendah melalui saluran kecil seperti 'berliku-liku'. Sekitar 70 - 80% (84.000-96.000 m^3/hari) dari aliran lumpur itu mengendap disekitar pusat semburan dan sisanya 24.000-36.000 m^3/hari mengalir sebagai air berlumpur (lumpur yang sangat encer). Sampel lumpur terendapkan dan air berlumpur diambil dan dianalisa, mereka mengandung partikel padat masing-masing 340 kg/m^3 dan 61 kg/m^3 . Kondisi yang lebih rendah dari permukaan di bagian utara kolam lumpur telah menyebabkan air berlumpur mengalir ke arah ini dan terakumulasi sana. Selanjutnya air kemudian terpisahkan dari lumpur selama terakumulasi disananya. Meskipun memngalirkan lumpur ke arah selatan itu tidak mudah, tugas itu harus dilakukan karena kebijakan Pemerintah. Lumpur encer atau air yang yang mengandung padatan 61 kg/m^3 ditambah dengan air pengencer kemudian dipompa ke sungai. Kandungan padatan dalam air berlumpur yang keluar di ujung pipa tercatat ± 39 kg/m^3. Permukaan pond lumpur pada bagian selatan relatif lebih tinggi dari pada di utara, membuat sekitar 60% (14.400-21.600 m^3/hari) dari air yang berasal dari semburan utama mengarahkan wilayah utara, sementara 9600 -14400 m^3/hari pergi ke selatan. Debit air yang keselatan ini kemudian di

tambah dengan air pengencer dan dipompa ke Kali Porong. Ini berarti bahwa efisiensi kerja pompa hanya 8 - 12%. Dari perhitungan neraca bahan lumpur, debit aliran air berlumpur ke sungai adalah 15000-22000 m^3/hari dan debit air injeksi ditambahkan adalah 5400-7600 m^3/hari. Pengenceran air diambil dari Porong Kanal dan air jernih yang terakumulasi di kolam Jatirejo (terletak di bagian barat daya kolam lumpur). Sebagian besar air yang jernih telah terakumulasi di bagian timur laut, barat laut dan utara pond tersebut. Dimensi tanggul di sekitar kolam memiliki tinggi yang terbatas, tidak boleh lebih dari 12 m (TKKP-ITS), karenahal itu sangat rentan terhadap ancaman retak dan sliding. Di sisi lain, akumulasi lumpur yang terus-menerus di dalam kolam dapat membuat menyebabkan *over topping* di tanggul.

Sering terjadi bahwa operasi pompa terlalu pendek, karena ada ketidakseimbangan kondisi debit air antara inflow dan outflow pompa. Kapasitas pompa yang ada terlalu besar dibandingkan dengan debit air lumpur dari semburan lumpur yang menuju *pump- pit* yang tersedia. Selain itu, ketika pompa dioperasikan tidak hanya lumpur encer tetapi juga padatan akan terikut serta dan setelah beberapa kali pompa beroperasi, baik didalam pompa itu sendiri maupun di pipa sepanjang transmisi telah terjadi penyumbatan oleh lumpur. Karakteristik lumpur yang kohesif dan adesif membuat peristiwa ini terjadi.
Lumpur yang telah berhasil ditransfer ke sungai bahkan berpotensi untuk membuat pendangkalan sungai dan banjir di hulu sungai.

Kesimpulan

1. Padatan di aliran lumpur dari pusat semburan lumpur mengendap di sekitarnya dan memadat, sehingga menyebabkan permukaan tanah naik. 'Mud Vulcano' mungkin terbentuk pada peristiwa ini.

2. Aliran air yang berasal dari lumpur bergerak menjauhi pusat semburan, melewati endapan lumpur dan terakumulasi di bagian terendah dalam pond.

3. Akumulasi Air dalam pond penyebab ‘overtopping’ tanggul dan terjadinya banjir.

4. Hanya 8 - 12 % dari jumlah aliran lumpur yang keluar dari pusat semburan berhasil di pompa ke Kali Porong

Saran

1. Terjadinya pengendapan padatan lumpur disekitar pusat semburan dibiarkan saja, sehingga terjadi gunung lumpur. Agar diusahakan tidak terjadi akumulasi air didalam pond lumpur.
2. Pemompaan lumpur ke Kali Porong perlu dtinjau ulang, disarankan agar hanya memompa air saja kesana.
3. Jumlah pompa, kapasitas dan lokasi harus ditinjau ulang, dan ditetapkan berdasarkan laju aliran lumpur dan distribusinya. Lokasi *pump-pit* ditata ulang agar mampu mengakomodasi operasi pompa. Lumpur yang encer dan air bebas padatan dialirkan arah timur secara alami.
4. Perlu disiapkan daerah untuk penampungan lumpur yang baru, mungkin lebih dipilih sisi timur. Usaha pembebasan lahan harus dilakukan dengan bijak, karena masalah sosial sering muncul.
5. Metode pengaliran lumpur bisa dilakukan pada saluran terbuka dgn ‘traktor ber ponton’ menuju timur ke daerah berawa, atau jika mungkin, menggunakan udara bertekanan untuk mendorong lumpur dalam pipa berdiameter besar.

Referensi

1. Balai Besar Keramik Bandung, 2006, Pemeriksaan Pendahuluan Lumpur Panas Lapindo sidoarjo’.
2. Joni, M.A., Altway, A. dan Laksana,D., 2007, Study Experimental Pengaliran Lumpur Sidoarjo, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat ITS.
3. Noel de Nevers (1991), Fluid Mechanics for Chemical Engineers, 2nd Ed., McGraw-Hill Int.
4. Said, N.I.,2006, Skenario Penanganan Air lumpur Lapindo Sidoarjo, Deputi Bidang Teknologi Pengembangan Sumber Daya Alam, BPPT.
5. Pusat Studi Kebumian dan Bencana, 2009, Penanggulangan Lumpur Sidoarjo, LPPM-ITS, ISBN:978-979-19498-0-4.
6. Final Technical Report: United Nations Disaster Assesment and Coordination mission, 2006, Environmental Assessment Hot Mud Flow East Java, Indonesia, Joint UNEP/OCHA Environment Unit.

16 Mekanisme Munculnya Semburan Baru di Sekitar Tanggul Lumpur Sidoarjo

Amien Widodo
Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya
Email: amien@ce.its.ac.id

Abstrak – *Bersamaan dengan semburan lumpur Sidoarjo muncul ancaman lain yaitu amblesan yang diikuti munculnya retakan dan semburan gas. Oleh karena semburan lumpur Sidoarjo masih berlangsung sampai sekarang maka munculnya retakan dan semburan gas juga semakin meluas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses terbentuknya retakan dan semburan gas yang berkembang di luar tanggul Sidoarjo. Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah hasil studi literatur dan hasil pengukuran di lapangan terhadap dimensi retakan dan semburan. Berdasarkan data lapangan dan hasil studi literatur kemudian dilakukan analisisi untuk mengetahui proses-proses yang terjadi di sekitar semburan lumpur Sidoarjo. Hasil peneltian menunjukkan bahwa semburan yang berlangsung terus menerus di bagian pusat semburan menyebabkan munculnya tegangan ke arah bawah di sekitar pusat semburan dan tegangan melingkar dengan arah menuju pusat semburan. Tegangan melingkar ini menyebabkan retakan melingkar dengan jarak dipslip mengecil ke arah luar. Munculnya retakan ini menghubungkan sumber lapisan gas dengan permukaan sehingga muncul semburan baru. Retakan-retakan tersebut berkembang menjadi patahan seperti yang terjadi di Siring Barat dan diikuti berkembangnya tegangan bercabang (trishear) sehingga memunculkan semburan gas di kawasan yang jauh dari pusat semburan. Berdasarkan hasil analisis tersebut maka dapat disimpulkan bahwa patahan, retahan dan semburan masih akan terus berlangsung kalau semburan lumpur di bagian pusat semburan masih berlangsung.*

Kata kunci: *amblesan , retakan, patahan, semburan gas*

PENDAHULUAN

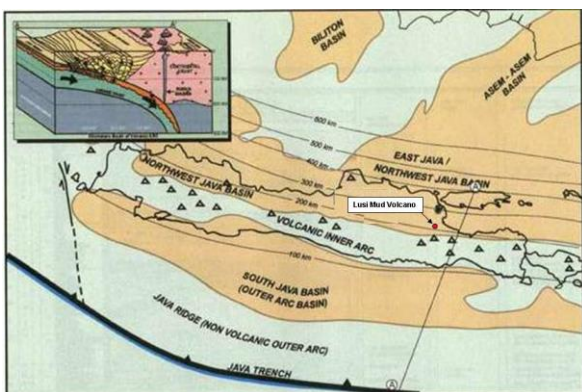
Sejarah singkat semburan lumpur Sidoarjo dimulai tanggal 29 Mei 2006 dan kemudian semburan berlangsung terus menerus menyebabkan pelebaran kawah semburan dan diikuti dengan banyaknya retakan radial di sekitar semburan, amblesanpun dimulai sekitar pertengahan Oktober 2006 sehingga jalan tol tergenang (seminggu sebelum lebaran), retakan radial lagi sekitar awal Nopember 2006 dan amblesan besar tanggal 22 Nopember 2006 yang diikuti ledakan pipa gas dan semburan-semburan baru. Ledakan ini menyebabkan meluapnya lumpur ke arah utara timur sehingga menenggelamkan desa Kedungbendo dan perumahan Tanggulangin Sejahtera. Sehingga peta terdampak yang sudah pernah dibuat berubah total. Setelah ledakan itu dimulailah amblesan yang berlangsung secara gradual dan perlahan tapi pasti sehingga tanggul cincin di pusat semburan selalu terjadi luapan lumpur atau over topping. Seringnya overtopping memaksa upaya penutupan dengan relief well dan bola-bola beton terhenti. Demikian pula dengan pipa pertamina yang baru saja dipasang terpaksa ditinggalkan tidak bisa dimanfaatkan.

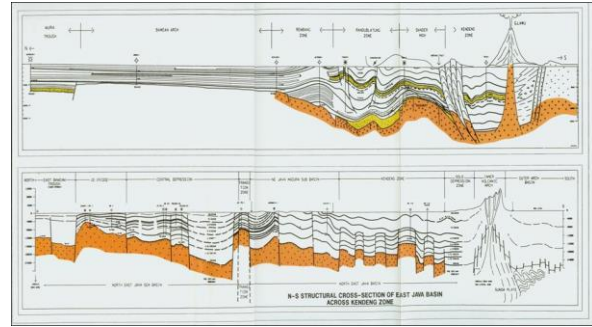
Ada perubahan material yang keluar pasca amblesan tanggal 22 Nopember 2006 yaitu dengan keluarnya material kerikil (batu lempung berukuran kerikil). Ini menunjukkan dugaan kuat bahwa telah lahir mud volcano (gunung lumpur) baru di Sidoarjo. Sumber air dan uap panas (hidrothermal) diduga pada kedalaman > 3000 meter dan menerobos lapisan betulempung (serpih) dan batupasir yang mengandung banyak gas di kedalaman > 1500 meter. Munculnya kerikil menunjukkan bahwa semburan lumpur Sidoarjo sudah memasuki fase pembentukan kerucut gunung karena kerikil akan mengendap disekitar pusat semburan, sedangkan air yang keluar bersamanya akan mengalir menjauh dari pusat semburan. Sedangkan fase amblesan sudah mulai, di bagian tengah sekitar pusat semburan lebih cepat dibandingkan di luar pusat semburan. Koft, 2002 menyebutkan bahwa pembentukan gunung lumpur melalui 3 fase yaitu fase pertama erupsi

air+lumpur, fase kedua fase turbulensi semburan dimana material yang keluar air+lumpur+kerikil dan fase ketiga fase amblesan.

Permasalahan muncul karena semburan lumpur Sidoarjo masih berlangsung sampai sekarang yang diikuti munculnya retakan dan semburan gas juga semakin meluas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses terbentuknya retakan dan semburan gas yang berkembang di luar tanggul Sidoarjo

BAHAN DAN METODE

Pulau Jawa secara geologis termasuk berada di kawasan tektonik aktif, hal ini terjadi sebagai konsekuensi adanay tumbukan lempeng tektonik yang menekan sepanjang P.Jawa termasuk Jawa Timur. Akibat kompresi arah utara selatan dari lempeng Samudra Hindia-Australia dan lempeng Eurasia membentuk Cekungan Jawa Timur Utara dengan pola struktur geologi yang khas yaitu (1) struktur patahan dengan arah NNE-SSW, (2) struktur patahan barat – timur (3) struktur lipatan dengan sumbu barat – timur dan (4) struktur diapir dan gunung lumpur di bagian puncak antiklin dan zona patahan. Secara fisiografik tektonik maka wilayah Cekungan Jawa Timur Utara merupakan cekungan yang aktif sehingga sedimen yang terbentuk sangat tebal dan berlangsung sangat cepat dan sangat dimungkinkan adanya sedimen yang belum membatu terjebak diantara lapisan. Aktivitas tektonik ini terjadi berulang-ulang, sehingga menyebabkan struktur geologi daerah ini menjadi kompleks (Gambar 1 dan Gambar 2).

Gambar 1. Fisiografi cekungan jawa Timur Utara (Kusumastuti et all, 2002).

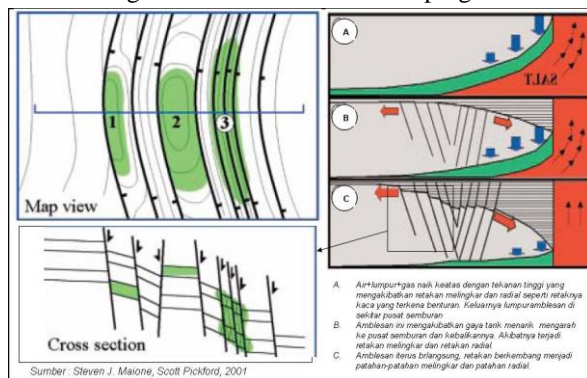
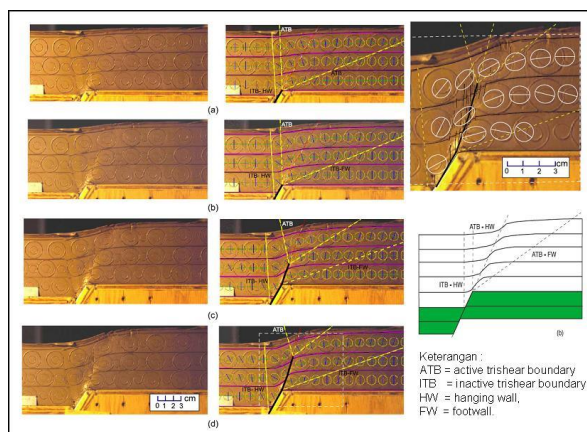
Di daerah cekungan minyak gas bumi, lapisan lumpur atau serpih bercampur menjadi satu dengan air fosil, minyak dan gas bumi. Tekanan lapisan diatasnya

Gambar 2. Penampang Utara Selatan formasi geologi di Cekungan Jawa Timur Utara (Kusumastuti et all, 2002).

dan tekanan tektonik menyebabkan lapisan lumpur mengalami tekanan berlebih (over pressure) yang diikuti desakan keatas. Desakan lumpur ke atas semakin besar akhirnya akan membentuk diapir dan kalau ada retakan akan muncul ke permukaan bumi sebagai gunung lumpur. Tegangan vertikal (akibat semburan bertekanan tinggi) dari dalam bumi akan menyebabkan batuan dibagian bawah retak menyudut lancip terhadap arah tekanan dan secara tiga dimensi membentuk corong serta retak searah dengan arah tekanan (radial). Di permukaan dicerminkan dengan retakan radial dan melingkar. Semburan baru muncul akibat retakan-retakan yang berkembang di sekeliling semburan. Beberapa penelitian gunung lumpur di Amerika Serikat menunjukkan bahwa struktur geologi yang berkembang di daerah ini membentuk patahan melingkar dan patahan radial, contoh yang paling baik ada di daerah Cekungan Teksas Timur tempat penambangan garam pada tubuh diapir (Gambar 3).

MODEL KINEMATIK TRISHEAR

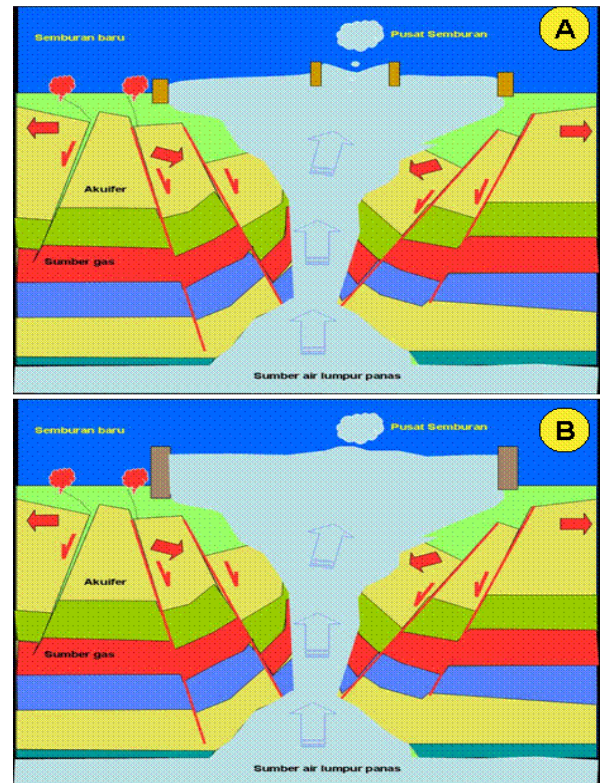
Model kinematik trishear pertama kali diusulkan olehErslev, 1991(dalam Jin et.al, 2006) dirancang untuk memprediksi geometri dari patahan lipatan, yang tumbuh dengan perubahan baik di ketebalan lapisan dan ketebalan kemiringan lipatan. Trishear adalah tegangan geser didistribusikan dalam zona segitiga, salah satu puncak yang terletak di ujung patahan dan merupakan awal model dengan menghadirkan rumusan masalah yang jelas untuk menganalisis pengaruh propagasi/ perkembanagan variabel.

Patahan yang terjadi secara individual bisa berkembang menjadi patahan ”trishear” seperti tergambar dari hasil percobaan di bawah ini (Gambar 4). Pada gambar sebelah kiri merupakan hasil percobaan di laboratorium dengan

menggeserkan tanah secara bertahap sehingga berkembang retakan-retakan di sekitar pergeseran.

Gambar 3. Penambangan kubah garam yang berkembang menjadi patahan melingkar di Teksas Timur (Steven J. Maione, Scott Pickford, 2001)

Gambar 4 Patahan tumbuh dan asosiasi retakan yang terjadi (Jin e.al., 2006)

DISKUSI

Semburan lumpur Sidoarjo masih berlangsung sampai sekarang sehingga munculnya retakan dan semburan gas juga semakin meluas. Retakan melingkar dan radial akan menghubungkan sumber gas dan atau sumber air di bawahnya dengan permukaan bumi sehingga muncul semburan air garam, semburan gas metan yang bersifat mudah terbakar, dan semburan gas H2S (Gambar 5).

Identifikasi lokasi semburan baru di luar Peta Area Terdampak Lumpur Sidoarjo telah dilakukan oleh BPLS dan pemerintah provinsi Jawa Timur, hasilnya menunjukkan bahwa sebagian semburan baru padam, semburan padam kemudian hidup lagi dan semburan berlangsung terus menerus.. Hasil identifikasi semburan gas menunjukkan bahwa sebanyak 100 buah bualan sudah tidak aktif dan 80 aktif terdapat di desa Jatirejo, Siring Barat dan Timur, Pamotan, Ketapang, dan Besuki (Gambar 6). Desa-desa yang dikaji lainnya tidak dijumpai buble. Hampir semuanya (90%) keluar dari retakan tanah sehingga sulit ditangani. Hanya sebagian kecil saja +/- 10% yang keluar dari sumur gali dan sumur bor air tanah (kedalaman antara 50 - 100 m), itu pun konsentrasi gas HC yang released terlalu kecil dan tidak signifikan untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar tungku warga.

Gambar 5 : Seketsa grafis terjadinya semburan baru di sekitar tanggul lumpur Sidoarjo. Kondisi A saat masih ada tanggul cincin, sedangkan kondisi B tanggul cincin sudah tenggelam

Gambar 6 Peta bualan dan retakan di luar peta terdampak

Retakan-retakan yang berkembang di luar tanggul lumpur bagian barat menunjukkan adanya arah jurus yang sama antara U340oT – U5oT dan sebagian berkembang menjadi patahan turun dengan sudut kemiringan > 80oT dan patahan graben turun sekitar 20 cm (Gambar 7). Beberapa tempat graben ini runtuh yang membentuk lubang besar berdiamter 5 – 6 meter. Patahan-patahan yang berkembang di kawasan ini terjadi karena adanya patahan trishear.

Gambar 7.Patahan tumbuh yang berkembang menjadi ”trishear” membentuk lubang-lubang dan patahan.

KESIMPULAN

Berdasarkan data dan hasil analisis maka dapat dismpulkan bahwa :

1. Patahan yang berkembang di Ketapang – Siring barat – Jatirejo Barat dengan jurus yang U340ºT – U5ºT telah berkembang menjadi patahan turun dengan sudut kemiringan > 80ºT dan patahan graben turun sekitar 20 cm (Gambar 7). Beberapa tempat graben ini runtuh yang membentuk lubang besar berdiamter 5 – 6 meter.
2. Patahan ini diikuti munculnya retakan-retakan di bagian barat sampai sejauh > 500 meter dari lokasi patahan dan menjadi media keluarnya semburan gas dan atau air dan atau lumpur.

REFERENSI

1. Alastair H.F. Robertson2 and Achim Kopf, 1998, Tectonic Setting And Processes Of Mud Volcanism On The Mediterranean Ridge Accretionary Complex: *Evidence From Leg 1601*
2. Jin G. and Richard H. Groshong R.H.Jr., 2006, Trishear kinematic modeling of extensional fault-propagation folding, *Journal of Structural Geology* , *v.*28, p170–183, Elsevier Ltd. All rights reserved
3. Kusumastuti A, P. Van Rensbergen, and J. K. Warren**, 2002,** Seismic sequence analysis and reservoir potential of drowned Miocene carbonate platforms inhe Madura Strait, East Java,Indonesia, *AAPG Bulletin*, v. 86, no. 2 (February 2002), pp. 213–232
4. Laporan Tim Gubernur, 2010, KAJIAN KELAYAKAN PERMUKIMAN AKIBAT SEMBURAN LUMPUR SIDOARJO, tidak dipublikasikan, Surabaya
5. UNEP, 2006, Awarness and Preparedness for Emergency at Local Level, *Workshop Nasional*, tgl 28 - 29 Maret 2006, ITS, Surabaya
6. Yin–Hongwei and Groshong, Jr Richard H. 2006, Balancing and restoration of piercement structures: geologic insights from 3D kinematic models, *Journal of Structural Geology* *Volume 28, Issue 1*, January 2006, Pages 99-114

17 Aplikasi Metoda Mikrotremor HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) Untuk Profiling Bawah Permukaan Dan Karakterisasi Dinamik Daerah Mudflow Gunung Anyar

Wien Lestari, Dwa Desa Warnana, Firman Syaifuddin Akbar
Jurusan Teknik Geofisika ITS Surabaya

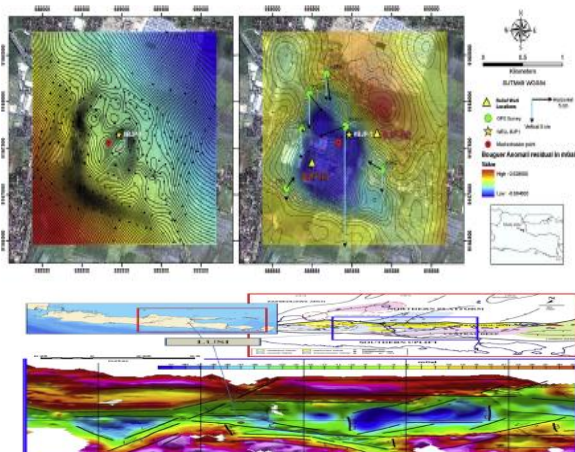
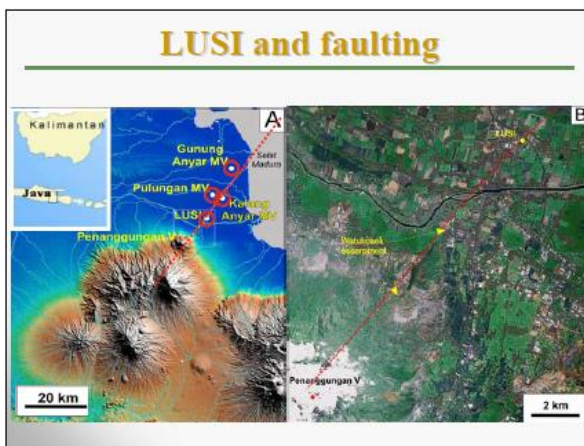
Abstrak – *Kota Surabaya secara geologis didominasi oleh endapan alluvial dan batuan sedimen seperti batu pasir, lanau dan gamping. Lokasi penelitian adalah daerah mudflow Gunung anyar Surabaya yang dikelilingi oleh pemukiman padat penduduk dan infrastruktur kota. Karakter lapisan tanah yang merupakan soft sedimen membuat daerah ini rawan jika terjadi bencana gempa. Survei Geofisika menggunakan metoda mikrotremor HVSR (Horizontal to vertical Spectrum Ratio) bertujuan untuk mendapatkan profil struktur bawah permukaan daerah mudflow Gunung Anyar dan parameter karakteristik dinamik lokal seperti frekuensi natural dan amplifikasi serta dianggap lebih efektif dan efisien untuk dilaksanakan di daerah padat penduduk. Data mikrotremor serta dibantu dengan data geologi yang telah ada diharapkan mampu menghasilkan suatu model geologi daerah mudflow Gunung Anyar yang dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang potensi mudflow serta ancamannya bagi masyarakat dan lingkungan sekitarnya. Nakamura (1989) mengembangkan konsep HVSR dengan asumsi metoda mikrotremor didominasi oleh gelombang geser (Vs) dan mengabaikan gelombang permukaan. Informasi frekuensi natural menggambarkan ketebalan soft sedimen dan kecepatan rata-rata gelombang geser (Vs) sedangkan amplifikasi berbanding lurus dengan kontras impedansi (kecepatan gelombang geser (Vs) dikalikan densitas antara sedimen dan bedrock, kecepatan gelombang primer (Vp) dan faktor quasi gelombang geser (Qs). Hasil pemrosesan data dapat memperlihatkan zona lemah berupa struktur geologi patahan yang terletak pada pusat semburan dan antiklin yang menjadi tempat akumulasi (reservoir) lumpur. Penelitian ini juga bermaksud mengkaji hubungan pergerakan patahan aktif watukosek terhadap mudflow Gunung Anyar. Informasi bawah permukaan dan karakter dinamik lingkungan mudflow Gunung Anyar dapat menjadi acuan dasar dalam penataan ruang dan pembangunan infrastruktur di daerah patahan aktif.*

Kata kunci: *mikrotremor,HVSR, mudflow Gunung Anyar, Surabaya*

PENDAHULUAN

Keberadaan Mud Volcano (gunung lumpur) berhubungan dengan minyak dan gas bumi, struktur patahan, potensi bencana, kealamian, dan pemandangan yang menarik (Mazzini, 2009). Lima titik mud volcano yang terdapat di patahan Watu Kosek, yang berpotensi bencana adalah lumpur Sidoarjo dan mud volcano Gunung Anyar Surabaya. Mud Volcano tersebut dikatakan memiliki potensi bencana karena terletak pada pemukiman padat penduduk.Untuk itu, penting untuk memperkirakan bahaya seismik yang mungkin terjadi untuk mengurangi potensi kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi. Besarnya getaran seismik sangat tergantung kepada jenis batuan dan ketebalannya. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menampilkan profil bawah permukaan dan karakter dinamik dari lokal setempat sehingga selanjutnya dapat dipakai sebagai acuan dasar pembuatan peta rawan bencana dan site plan pembangunan kota. Penelitian ini juga mengkaji hipotesa efek regional patahan aktif Watukosek terhadap aktivitas semburan mudflow Gunung Anyar pemodelan geometri bawah permukaan mudflow Gunung Anyar diharapkan menjadi langkah awal memahami kemungkinan pemicu semburan mudflow.

Gambar I dan II berikut ini adalah data metode gaya berat yang menunjukkan kemenerusan patahan watukosek dan mud volcano di Surabaya dan sekitarnya

Sudah Pernah Dipublikasikan di Seminar Nasional CITIES Tahun 2014

Gambar I. Data gaya berat yang mengambarkan patahan watukosek dan mud volcano

Gambar II. Kemenerusan Patahan Watukosek dan mud volcano

Karakteristik dinamik tanah seperti mengestimasikan nilai Vs (gelombang geser) untuk kedalaman tanah dalam multi dimensi secara konvensional digunakan metode geofisika borehole, namun membutuhkan biaya lebih mahal dan waktu yang cukup lama sehingga dilakukan observasi mikrotremor yang dapat menampilkan profil bawah permukaan tanpa pengeboran Menurut Tokimatsu 2004, mikrotremor atau yang biasa disebut dengan ambient noise adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan dan menentukan parameter karakteristik dinamik (damping ratio dan frekuensi natural) dan fungsi perpindahan (frekuensi dan amplifikasi) bangunan.

Teknik HVSR (Horizontal to Vertical Fourier Amplitude Spectral Ratio) pada analisis data mikrotremor telah digunakan secara luas untuk studi efek lokal dan mikrozonasi. Selain sederhana dan bisa dilakukan kapan dan dimana saja, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan lebih dulu. Nakamura et al.,1989 menyebutkan bahwa metode HVSR untuk analisis mikrotremor bisa digunakan untuk memperoleh frekuensi natural sedimen.

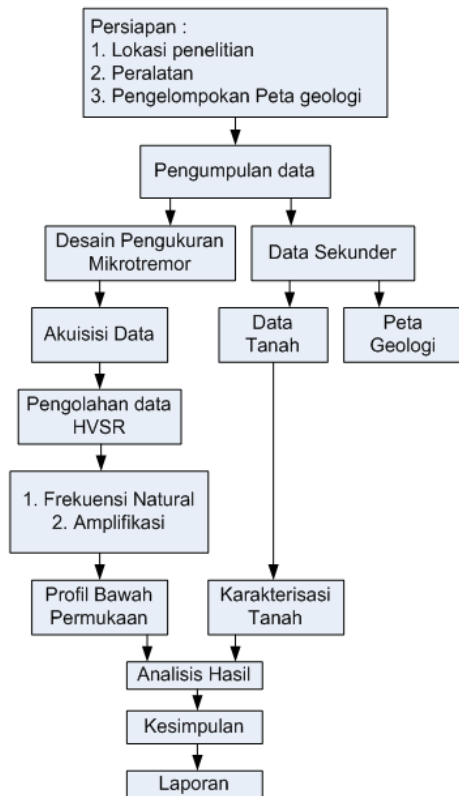
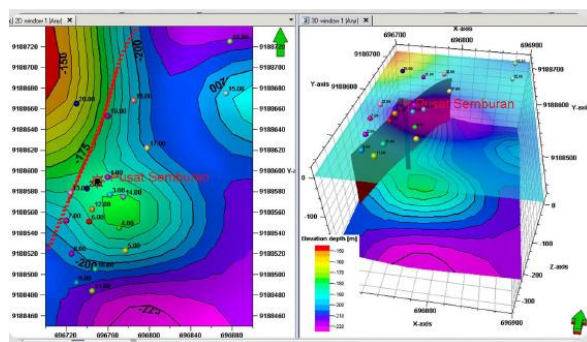
METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat mikrotremor portable yang terdiri dari alat Portable Digital Seismograph 3 komponen (2 komponen horizontal: EW-NS dan 1 komponen vertikal) periode pendek merk MAE (Italia) dengan jenis sensor seismometer S3S serta dilengkapi digitizer (Data logger). Pengukuran mikrotremor dilakukan menyebar di daerah sekitar mudflow Gunung Anyar dengan spasi 500 meter. Alur penelitian ini secara lebih lengkap bisa dilihat pada gambar III.

Penelitian diawali dengan mendesain konsep akusisi lapangan, sehingga didapatkan gambaran rinci terkait dengan akusisi yang akan dilakukan. tahap selanjutnya adalah akusisi mikrotremor pada titik akusisi yang telah didesain sebelumnya. Data akusisi dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan frekuensi natural dan nilai amplifikasi. Pengolahan data tersebut menggunakan software Geopsy dan analisis data HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) yakni rasio amplitudo spektrum horizontal dan vertikal data mikrotremor tanah pada software Geophsy. Kemudian analisis spektrum Fourier dilakukan untuk mengubah data awal akusisi yang berupa domain waktu menjadi domain frekuensi. Hasil FFT dilakukan smoothing dilanjutkan dengan analisis HVSR untuk memperoleh nilai frekuensi natural tanah.

Pengukuran atau pengambilan data metoda mikrotremor tahap pertama dilakukan selama tiga hari dengan total titik pengukuran adalah 21 titik yang tersebar di 15 lokasi di lingkungan mudflow Gunung Anyar yang dapat dilihat pada gambar IV. Luas jangkauan pengukuran adalah 500x500 meter2. Durasi pengambilan data untuk satu titik adalah 30 menit supaya mendapatkan kedalaman atau penetrasi bawah permukaan yang lebih besar.

Data mikrotremor selanjutnya diolah dengan software geophsy untuk mendapatkan data frekuensi natural dan amplifikasi struktur bawah permukaan mudflow Gunung Anyar. Informasi frekuensi natural yang

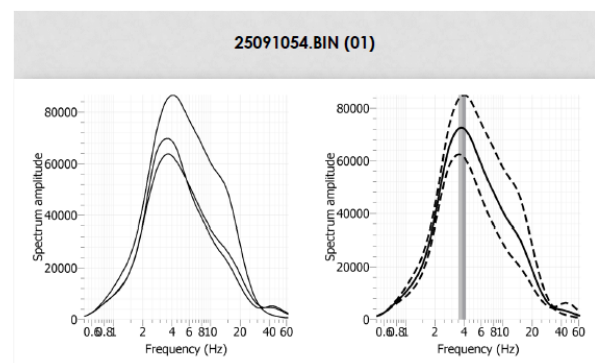
didapatkan dari puncak tertinggi kurva menggambarkan ketebalan soft sediment dan kecepatan rata-rata gelombang geser (Vs) sedangkan amplifikasi berbanding lurus dengan kontras impedansi (kecepatan gelombang geser (Vs) dikalikan densitas antara sedimen dan bedrock, kecepatan gelombang primer (Vp) dan faktor quasi gelombang geser (Qs).

Gambar III. Diagram Alir Penelitian

Gambar IV. Titik-titik pengukuran mudflow Gunung Anyar diplot berdasarkan koordinat (kiri) dan elevasi (kanan) menggunakan alat GPS

TEMUAN

Data akusisi tanah dianalisis dengan teknik HVSR, yakni rasio amplitudo spektrum horizontal dan vertikal. Nilai frekuensi natural dan amplitudo dari setiap titik pengukuran diperlihatkan pada tabel 1. Hasil pengolahan data mikrotremor metoda HVSR yang ditampilkan pada tabel 1 memperlihatkan rata-rata frekuensi natural kecil sekitar 3-6 Hz yang artinya daerah pusat semburan adalah dominan endapan sedimen.

Tabel 1 Nilai Frekuensi Natural dan Amplitudo Analisis Kurva HVSR Tiap Titik Pengukuran

Titik	F_0 (Hz)	Amplitudo
25091054	3-4	80000
25094802	3-4	100000
25103315	3-4	90000
25110749	4-6	70000
25114231	3-4	100000-110000
25121822	4-6	70000-80000
25130024	3-4	120000
25135117	3-4	130000
25142622	3-4	120000
26091200	3-4	120000-130000
26095139	30-40	200000-210000
26102822	3-5	50000
26110533	3-4	90000
26114631	3-5	50000
26132249	4	120000
26135719	4	100000
27083206	3-5	100000
27091916	3-5	100000
27095505	4	120000
27103138	4	190000

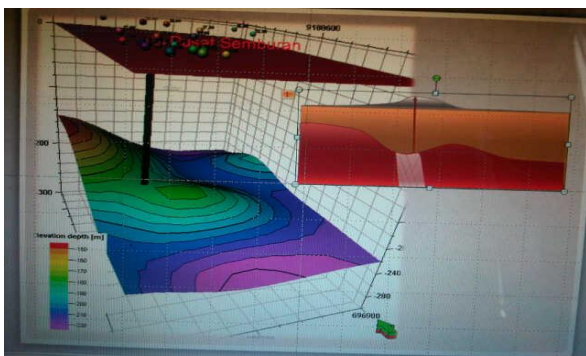
Gambar V di bawah ini adalah salah satu hasil pengolahan data mikrotremor di lokasi dua dimana posisinya tepat di dekat pusat semburan lumpur

Gambar V. Hasil pengolahan data mikrotremor di Lokasi 2 dekat pusat semburan mudflow Gunung Anyar

Gambar VI memperlihatkan hubungan kecepatan gelombang S dan kedalaman yang didapatkan dari persamaan analisis HVSR dimana nilai kecepatan gelombang S akan semakin besar seiring bertambahnya kedalaman batuan sedimen.

D	Vavg	4D	F
0.00	465.74	0	
12.50	866.80	50	17.34
25.00	1117.52	100	11.18
37.50	1351.65	150	9.01
50.00	1566.84	200	7.83
62.50	1761.55	250	7.05
75.00	1984.97	300	6.45
87.50	2087.12	350	5.96
100.00	2218.77	400	5.55
112.50	2331.48	450	5.18
125.00	2427.61	500	4.86
137.50	2510.27	550	4.56
150.00	2583.37	600	4.31
162.50	2651.60	650	4.08
175.00	2720.43	700	3.89
187.50	2796.11	750	3.73
200.00	2885.67	800	3.61
212.50	2996.92	850	3.53
225.00	3138.45	900	3.49
237.50	3319.64	950	3.49
250.00	3550.65	1000	3.55

Gambar VI.Grafik Hubungan Kecepatan (Vs) dan Kedalaman

DISKUSI

Proses pengolahan data selanjutnya adalah membuat model gambaran bawah permukaan menggunakan software Petrel. Hasilnya dapat dilihat pada gambar VII dimana bentukan batuan dasar bawah permukaan mengindikasikan adanya perbedaan ketinggian antara bagian sebelah barat dan timur dari pusat semburan mud volcano. Kelemahannya dalam pemrosesan ini adalah hasilnya tidak terlalu akurat dimana terdapat perbedaan ketinggian yang cukup besar sekita 50 meter. Hal ini terjadi karena menggunakan data kecepatan daerah Besowo yang secara struktur batuan mempunyai kemiripan dengan daerah mudflow. Oleh karena itu perlu melakukan akuisisi atau pengambilan data geolistrik minimal satu titik untuk mendapatkan data real kecepatan daerah mudflow Gunung Anyar.
Gambar VII memperlihatkan adanya perubahan ketinggian yang dianalisis karena adanya sesar yang berarah vertikal utara selatan (garis putih) dimana posisinya tepat di bawah pusat semburan. Insert sebelah kanan pada gambar VII memperlihatkan posisi reservoir mudflow tepat di bawah pusat semburan yang merupakan zona lemah sehingga mudah diintrusi lumpur. Akumulasi mudflow diduga terjadi akibat perbedaan ketinggian sehingga otomatis membentuk struktur yang menjadi reservoir lumpur di batuan dasar.

Gambar VII.Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Mudflow Gunung Anyar

KESIMPULAN

1. Bentukan batuan dasar bawah permukaan mengindikasikan adanya perbedaan ketinggian antara bagian sebelah barat dan timur dari pusat semburan *mudflow* sebesar ±50 meter karena asumsi data kecepatan yang digunakan adalah data lapangan daerah Besowo.

2. Perbedaan ketinggian ini diinterpretasikan sebagai akibat dari adanya sesar *oblique* yang secara lateral merupakan sesar geser kanan. Pusat semburan *mudflow* bagian timur secara vertikal mengalami penurunan.

3. Model batuan dasar yang digambarkan dapat menjelaskan terjadinya fenomena *mudflow* yang terjadi pada daerah tersebut. Adanya tinggian lokal pada bagian tenggara pusat semburan bisa merupakan struktur jebakan lumpur sehingga terakumulasi secara lokal dan memiliki tekanan yang tinggi. Pusat semburan adalah zona lemah sehingga dapat diintrusi oleh lumpur untuk mencapai permukaan

4. Perlu adanya pengambilan data tambahan metoda mikrotremor pada beberapa lokasi di sekitar *mudflow* untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan yang lebih global dan melakukan pengambilan data geolistrik sounding untuk mendapatkan model kecepatan satu dimensi (1D) yang selanjutnya digunakan sebagai data validasi dan verifikasi terhadap hasil respon mikrotremor

REFERENSI

Arai, H., Tokimatsu, K., 2004. *S-wave velocity profiling by joint inversion of microtremor H/V spectrum*. Bulletin of the *Seismological* Society of Amerca, 94(1), 54-63.

Gosar, A. 2010. *Site effects and Soil-Structure Resonance Study in The Kobarid Basin (NW Slovenia) Using Microtremor. Geofizika, vol.28.*2011

Laporan akhir BAPPEKO Surabaya. 2012. *Kajian dan Analisa Potensi Geologi dan Geofisika Kota Surabaya*, BAPPEKO Surabaya, Juni 2012

Mazzini, A., et al, *Triggering and Dynamic Evolution of The Lusi Mud Volcano, Indonesia*, Earth and Planetary Science Letters, Vol.261, No.3, pp 375-388, 2007

Mucciarelli, M. Other, C., D. Gosar, A. Herak, M. Albarello, D. 2008. *Assessment of Seismic Site Amplification and of Seismic Building Vulnerability in the Republic of Macedonia, Croatia and Slovenia.* The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.

Mufida A., Santosa B. J., Warnana D. D., *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*, JURNAL SAINS DAN SENI POMITS Vol. 2, No.2, 2337-3520, 2013.

Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface.* Quarterly Report of Railway Technical Research Inst. (RTRI) 30, 25–33.

Nakamura, Y. (2008). On The H/V Spectrum. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China

Sukardi. 1992. *Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Sungkono. B,. J., Santosa. 2011. *Karakterisasi Kurva Horizontal-to-Vertical Ratio: Kajian Literatur dan Permodelan.* Submit to Neutrino Journal.

Gosar, A. 2010. *Site effects and Soil-Structure Resonance Study in The Kobarid Basin (NW Slovenia) Using Microtremor. Geofizika,* vol.28 2011.

Warnana, D., Desa. Triwulan. Sungkono. W, Utama. 2011. *Assessment to the Soil Structure Resonance Using Microtremor Analysis on* Pare-*East Java,* Indonesia. ATE ISSN: 2221-4267 Vol.01 Issue 04.

Sungkono[1], Alwi Husein[1,2], Hardi Prasetyo[2], Ayi S. Bahri[3], Fernando A. Monteiro Santos[4], Bagus J. Santosa[1]

1. Physics Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arif Rahman Hakim, Surabaya 60111, Indonesia
2. Sidoarjo Mud Flow Mitigation Agency (BPLS), Indonesia
3. Geophysical Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arif Rahman Hakim, Surabaya 60111, Indonesia
4. University of Lisbon - DEGGE-IDL, Campo Grande Ed. C8, 1749-016, Lisboa, Portugal

Email : hening_1@physics.its.ac.id

Abstract – *Collapse and overtopping repeatedly occurs in LUSI Embankment. Discontinuities (crack or fracture) in the embankment are major reasons for embankment failures or collapses. Very-Low Frequency Electromagnetic (VLF-EM) measurement is essentially a non-destructive technique which displays subsurface 2D cross section of resistivity. The cross section result has the possibility of detecting discontinuities and liquid saturation in embankment before it collapsedby observing which part of it in the cross section that have low resistivity. This paper presents results of a survey conducted at the LUSI embankment in Eastern Java, Indonesia in a part of potential collapse. VLF-EM profiles measured along the embankment crest provided an overview of the whole embankment and served to detect anomalous zones. The noise assisted multivariate empirical mode decomposition (NA-MEMD) is applied to reject unwanted VLF-EM noise and Inv2DVLF software is applied to obtain result of 2D resistivity models. In the selected area, the drill log and the Standard Penetration Test (SPT) value gave detailed information about subsurface layer below embankment. This information is valuable for supporting 2D resistivity image obtained from VLF-EM data inversion. Furthermore, the low resistivity in embankment layer is associated to discontinuities (fracture, crack or fault) along the embankment which caused its collapse.*

Keywords: *VLF-EM, Embankment Collapse, LUSI, MEMD, NA-MEMD*

1. Introduction

In the 29th May 2006 the hot mud and gas have erupted in Sidoarjo town, East Java, Indonesia. It is a birth of mud volcano named LUSI (Lumpur Sidoarjo, in Indonesian Lumpur means mud) located around the major Watukosek Fault zone (Figure 1). The mud volcano is still erupting mud after 8 years. LUSI seems unstoppable although several attempt made to stop the mud eruptions. The LUSI mud volcano is the largest mud volcano in the world. It can be seen from the high flow rate and the covered area of the mud. Generally the eruption of mud volcanoes are a few tens to hundreds of m3/day, but the flow rate from LUSI in the new birth can achieve 180,000 m3/day while in the dormant stage (recently) rate of mud eruption ranges between 5,000 and 15,000 m3/day (Andreas et al., 2011).

Previous researchers had been debating the triggering of the mud volcano eruption, such as: (1) the eruption is caused by underground blowout which is triggered by exploration well operation (Davies et al., 2008; Tingay et al., 2008), (2) the birth of the mud volcano was caused by overpressure from upper Kalibeng Formation which has erupted through fault or fracture as Jogjkarta earthquake effect (Lupi et al., 2013; Mazzini et al., 2009, 2007; Sawolo et al., 2010, 2009; Tanikawa et al., 2010), (3) the mud eruption is a hydrothermal system that has very high pressure and

Journal of Applied Geophysics, Volume 109, October 2014, Pages 218–232

temperature and has erupted through a fault zone (Mazzini et al., 2012).

To minimize the impact of LUSI eruption, an embankment was built around the eruption so the mud does not spread and the hazard can be controlled. However, the result of mass loading from the eruption is centered in the embankment. The LUSI currently covers an area of 6.71 Km2although large amount of mud have been discharged into the Porong river. About 40,000 peoples have been displaced and the probabilistic longevity for the LUSI eruption have been predicted by researchers (Andreas et al., 2011; Davies et al., 2011; Rudolph et al., 2011) between 20 and 80 years, although new results(Mazzini et al., 2012)shown that the prediction is not relevant.

Mud volcano evolution have three phases, i.e.: mud eruption, landslide and subsidence (Kopf, 2002). Subsidence around LUSI area are estimated using Global Positioning System (GPS) and satellite image processing (Abidin et al., 2008; Andreas et al., 2011; Chaussard et al., 2013; Fukushima et al., 2009; Rudolph et al., 2013). Subsidence may cause the LUSI embankment failures, especially hydraulic and structural failures which are the consequences of subsidence in the embankment(Agustawijaya and Sukandi, 2012).The hydraulic failures (overtopping) often occurred(twenty nine events) in 2007 to 2008 while structural failures, embankment collapse, was occurred thirty two times in 2007 to 2008 (Table 1). Thus, assessment of the stability and failure origin of the LUSI embankment are needed.

The LUSI embankment contains areas of potential collapses (Figure 1),located around densely populated settlement. Embankment collapse may be caused by subsidence, liquid saturation, fracture or crack in the embankment, and others. Resistivity method(Al-Fares, 2011; Bedrosian et al., 2012; Chen et al., 2006; Dahlin and Johansson, 1995; Dahlin et al., 2008; Jackson et al., 2002; Jones et al., 2012; Karastathis et al., 2002; Oh, 2012; Panthulu et al., 2001; Sjödahl et al., 2009, 2008, 2005, 2002), seismic method(Bedrosian et al., 2012; Chen et al., 2006; Deidda and Ranieri, 2005; Karastathis et al., 2002; Osazuwa and Chinedu, 2008; Zhu et al., 2011), Ground Penetrating Radar (GPR) method (Di Prinzio et al., 2010; Golebiowski, 2010; Karastathis et al., 2002; Loperte et al., 2011) and Self potential method(Bolève et al., 2009; Panthulu et al., 2001)has been conducted to assess embankment stability. All of the methods above are used because of their non-invasive nature.

General embankment instability or embankment failures are affected by liquid saturation, crack and fault in embankment. Resistivity imaging is good to identify a potential collapse whether it is caused by liquid saturation of fracture or crack. One of the methods that can estimate subsurface resistivity imaging is the Very Low Frequency electromagnetic (VLF-EM) method. Thus, VLF-EM was carried out on LUSI embankment. VLF-EM has been used extensively in some cases where horizontal anomaly occurred(Gürer et al., 2009; Jeng et al., 2007; Lin and Jeng, 2010) but this method is very rarely used to identify embankment failures. In addition, VLF-EM instrument is particularly useful for carrying out shallow survey in urban environments and in LUSI embankment due to its nondestructive nature and capability of providing appreciable resolution shallow subsurface profile.Noise in the VLF-EM are caused by tornadoes, thunderstorms, lightning, sprites and nuclear explosions (Barr et al., 2000); those noises can distort VLF-EM data. Generally, recorded VLF-EM data consist of in-phase and quadrature data, called bivariate or complex data. Because in-phase and quadrature data include bivariate signals, separate analyses of both data will crucially ignore any mutual information (Mandic et al., 2008). Analysis of bivariate or multivariate data using univariate method, Empirical Mode Decomposition (EMD) variants, may result in mode misalignment (Hu and Liang, 2011; Rehman and Mandic, 2011) and wasteful time consuming (Sungkono et al., 2014). Mode misalignment describes a condition, where, same–indexedintrinsic mode functions (IMFs) would contain different modes across data channels. Thus, a processing algorithm to enhance or extract univariate data may not be suitable for VLF-EM.

In view of the above considerations, we apply a processing scheme which is efficient in enhancing the signal of the acquired VLF-EM data and eliminating noises of VLF-EM data. The noises are spurious components lacking of physical meaning from VLF-EM data. The applied method is a nonlinear filtering technique, the noise assisted multivariate empirical mode decomposition (NA-MEMD). The method is a development of the MEMD method (Rehman and Mandic, 2010). The NA-MEMD method has been demonstrated to be very effective in extracting signals from noisy VLF-EM data and the method was extensively and successfully applied in a geological field example (Rehman and Mandic, 2011; Sungkono et al., 2014).After the filtering process, inversion process is applied to estimate 2D resistivity of subsurface.

2. LUSI Embankment Failures

Embankment dams are classified into two main categories, based on types of soil mainly used as construction material, i.e.: earth-fill and rock-fill dams(Narita, 2000). The LUSI embankment is earth-fill dam which contains clay and silt soils (Agustawijaya and Sukandi, 2012). This condition contributes to all of the three embankment failures types which may occur at LUSI, such as: hydraulic failures, seepage failure and structural failures. Hydraulic failures occur as an effect of the uncontrolled flow of water and also due to the erosive action of water on the embankment slopes. This phenomenon may be related directly or indirectly to overtopping, wave erosion, top erosion and gullying. Seepage failure happens if we cannot control the velocity and quantity of seepage and also subsidence which then affect the embankment as happened in LUSI area. If seepage is uncontrolled, it can erode fine soil material from the downstream slope or foundation. This type offailure often leads to a complete failure of the embankment. Structural failures in embankment involve the separation or rupture of the embankment material and/or foundation. This failure may take on the form of a slide or displacement of material. In addition, soughs, bulges, cracks and other irregularities in the embankment are generally signs of serious instability and may indicate structural failure.

Table 1 resumes the LUSI embankment failures occurred between 2007 and 2009. There are many locations were repeatedly embankment collapse and overtopping occurred (Table 1). After both events, Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) or Sidoarjo Mud flow Mitigation Agency team usually immediately repairs the collapsed embankment and embankment failures recur (Table 1). Generally, the recurring failures are overtopping (hydraulic failures) and embankment collapse (structural failures).The overtopping was caused by subsidence in embankment (Abidin et al., 2008; Agustawijaya and Sukandi, 2012; Andreas et al., 2011; Istadi et al., 2009)while embankment collapse was mainly affected by fault movement, irregularities (fault, fracture or crack) through embankment, liquid saturation and others. Table 1 show that the embankment failures caused by overtopping and embankment collapse are dominating around point 24 to 43.

LUSI is a plateau region where the shallow geology is dominated by thick alluvial sediments, composed of delta sediment from back-arc sedimentation system. Usually this sedimentation system is rich of hydrocarbon, either as oil or gas potentials. The sedimentary rocks consist of silty clay, silty sand, clay and sand (Sukardi, 1992). All these rocks are experiencing sedimentation process since Early Miocene constituting an over pressured system (Mazzini et al., 2007).

Structural geology in LUSI eruption area cannot be observed directly because this location consists of thick sediments. However, structural elements can be inferred from indirect observations, namely: (1) topography map, which showsa sudden deflection of Porong and Ketapang rivers (Figure 1), related to soft rocks which physically are quite uniform and interpreted as location of Watukosek Fault; (2) the gas bubble location showing a straightening lineaments (Figure 1) and because the main vent and gas bubble generally erupt through weak zones, such lineament is expected to reveal the Siring Fault. More than 104 new gas bubble location have been recorded since the start of LUSI eruption. However, the activity is decreasing rapidly and only a few ones are still active.

The movement of Siring Fault, in LUSI area (Figure 1) caused by earthquakes is mentioned in previous researches (Istadi et al., 2012; Mazzini et al., 2009, 2007). Fracture and crack as effects of subsidence in LUSI area are mentioned in Andreas et al.(2011) and Mazzini et al.(2009).Liquid saturation may occur in LUSI embankment because the material eruption contains 40% of liquid and the remaining are solids. Here, we are interested in describing the causes of the collapse of the LUSI embankment. To do this, VLF-EM is utilized to describe subsurface physical conditions.

Figure 2 shows drill log and standard penetration test blow counts (N-SPT) data collected at drill of point 43. The N-SPT parameter can be used to evaluate the soil strength or hardness in term of number of blows (N-values). The N-values are defined as the number of blows per 30 cm of penetration in to soil. Based on Figure 2, one can conclude that the LUSI area is composed of soft rocks which have high ductility while embankment material contains hard rock which have low ductility. It shown that this site have fairly high deformation caused by combination of ground relaxation and land settlement in LUSI area (Abidin et al., 2008; Fukushima et al., 2009).

3. VLF-EM Methods

The VLF-EM is an electromagnetic method in which the signal sources are radio transmitters in the 3–30 kHz frequency band but in fact limited to 15–25 kHz (McNeill and Labson, 1993), which uses signals of terrestrial radio transmitters, distributed around the world and mainly used for navigation purposes. It means that VLF-EM method is a passive electromagnetic method. Thus, VLF-EM surveys provide a quick and powerful tool for near surface study.

The signals from VLF transmission stations propagate in three waves, namely: spacewave (signal goes directly from transmitter to receiver), skywave (signal is refracted and reflected by ionosphere and returns to the ground), and groundwave (signal travels along the surface of the earth)(Jeng et al., 2012). We receive mainly the skywave as the primary wave at long distances from the transmission station (Paterson and Ronka, 1971). In 2-D earth, the VLF-EM primary electromagnetic field of a radio transmitter (vertical electric dipole) has a vertical electric field component (E_{PZ}) and a horizontal magnetic field component (H_{PY}) which are in a plane perpendicular to the propagation direction x. At a distance greater than several free wavelengths from the transmitter, the primary EM wave can be assumed to be plane propagating waves. H_{PY} penetrates into the ground and induces a secondary horizontal electric component (E_{SK}) in deeper conductive structures with an associated magnetic field (H_S).The intensity of the secondary EM field depends on the conductivity of the ground.

The resultant field is the superposition of the primary field and secondary field which is described as follow(Bosch and Müller, 2001).

$$H_R = H_P + H_S$$
$$H_R = |H_P| e^{i\omega t} + |H_S| e^{i(\omega t - \varphi)} \quad (1)$$

where , and is the phase shift between the primary and secondary fields. The magnetic field vectors have the following components:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ H_{Ry} \\ H_{Rz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ H_{Py} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ H_{Sy} \\ H_{Sz} \end{pmatrix} \quad (2)$$

The commercial VLF-EM systems generally measures real and imaginary parts of the ratio (H_{RZ} / H_{RY}) .The real component is in-phase while imaginary part is quadrature (out-of-phase).Both components reflect changes in the resistivity distribution of the subsurface. Furthermore, the skin depth (in meter) describes the penetration depth for VLF-EM propagation in a homogeneous shalf space and is expressed by:

$$d = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_0}} \approx 503\sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (3)$$

where ρ denotes the resistivity of subsurface and ***f*** is the transmitter frequency.

4. Data processing Method

The VLF-EM data are generally disturbed by other source of electromagnetic noises, such as: atmospheric, environmental, global lightning, dust storm, and volcanic eruption, etc. (Jeng et al., 2007; McNeill and Labson, 1993)and also was degraded by geological noises(Everett and Weiss, 2002). All of those noises are non-stationary and nonlinear. Empirical Mode Decomposition (EMD) method and its variants can be applied to VLF-EM data for decomposing and denoising which is able to choose a number of IMFs (Jeng et al., 2012, 2007; Lin and Jeng, 2010; Sungkono et al., 2014). Further, inversion and linear filter (Fraser and Karous-Hjelt filters) process are applied. In this paper, we demonstrate the effects of filter methods (univariate EEMD and NA-MEMD) to obtain 2D resistivity model and sketch contour maps for the interpretation process.

4.1. Empirical Mode Decomposition (EMD) and Ensemble EMD (EEMD)

EMD is proposed by Huang et al.(1998) to decompose nonlinear and nonstationerunivariate signal or data (a distance- or time-series) into M intrinsic mode functions (IMFs) and a residue through an iterative process called sifting process.

$$x = \sum_{j=1}^{M} IMF_j + r \quad (4)$$

The sifting procedure initially sets $r = x$. All the local extrema (minima and maxima) of the ***r*** are identified based on the first derivative of the ***r*** (Rilling et al., 2003)or the criterion in Wang et al.(2014) and the interpolation of all local minima and local maxima use cubic spline to generate lower *L* and upper *U* envelopes, respectively. The means of the two envelopes are defined by m = (L+U)/2. The different between the *r*and *m* is oscillating signal *h*. If the

resulting signal h obeys the stopping criterions, h becomes IMF otherwise set $r = x - h$ and the sifting process must be repeated until the stopping criterion standard is met. The sifting process is continued until the difference between normalized squared value of the two successive results is less than or equal to standard deviation (SD), which is generally set within the range (0.2-0.3) (Huang et al., 2003).Another commonly used criterion is based on the mean of envelope m and envelope amplitude $a = (U - L)/2$.The sifting process is stopped after the value of the evaluation function $f = |\frac{m}{a}|$is less than σ_1 for some prescribed fraction (1−α) of the total duration, while $f<\sigma_1$for the remaining fraction (Rilling et al., 2003). Furthermore, this threshold can be expressed in $[\sigma_1 \sigma_2 \alpha]$ and based on the empirical study, the parameter stopping criterion that is used in sifting process are$[\sigma_1 = 0.05, \sigma_1 = 0.5, \alpha = 0.05]$.(Rilling et al., 2003).

The limitation of EMD is mode mixing when EMD method is applied to decompose intermitting signal. Mode-mixing describes that either one single IMF may contain signals of different oscillatory modes or a signal of one mode may reside in different IMFs. To overcome this problem, EEMD method is proposed (Wu and Huang, 2009). The EEMD procedure adds a white Gaussian noise (WGN) Wn to the data x and the EMD procedure is applied for the noise added data $X=x + R \times W_n$ to obtain IMFs candidate. Where R is the ratio of the standard deviation of the WGN used asinput to the data x which also called as amplitude noise. The WGN has amplitude with normal distribution of zero mean and standard deviation one. Repeating the above procedure of some WGN (different WGN but same amplitude noise) acquires an ensemble of IMFs candidate. The final IMFs are resulted by the ensemble mean of IMFs candidate.

4.2. Multivariate EMD (MEMD) and Noise Assisted MEMD (NA-MEMD)

Practically, observed data not only contains magnitude (time dependent) but also contains directions (time dependent). The data can be vectors (3 components of seismic data, magnetotelluric, etc.) or complex data (VLF-EM data).As described above, in univariate EMD, identification of local optima is an important parts of EMD process where the local optima is used to estimate upper and lower envelopes. Mandic and Goh (2009) described and showed that local optima of multivariate data is not possible to find directly as in univariate EMD. Moreover, the mean envelopes defining an IMF is rather confusing for multivariate signals (Fleureau et al., 2011a, 2011b; Rehman and Mandic, 2010; Rilling et al., 2007).Consequently, several algorithms have been proposed to overcome this problem, i.e., rotation invariant complex EMD (RIEMD) (Altaf et al., 2007), bivariate EMD (BEMD) (Rilling et al., 2007), and multivariate EMD (MEMD) (Rehman and Mandic, 2010).

The BEMD method is used to decompose bivariate signals where the algorithm uses: the signals projection in N directions, finds local extrema and constructs envelopes in multiple directions. The envelopes in multiple directions make a 3D tube. The center of tube as local mean can be used as barycenter of the N point. Thus, the local mean is calculated by the mean ofall the envelopes. Estimation of local mean using BEMD approach is more accurate than using RIEMD (Mandic and Goh, 2009). So, the BEMD is also better than RIEMD to decompose bivariate signals. Inspired from BEMD, Rehman and Mandic (2010) has been recently proposed MEMD algorithm to process multivariate signals simultaneously in multidimensional domain (n-space). The methodis a generalization algorithm to decompose any multivariate signal: the mean envelope is calculated by averaging multiple signal projections on an appropriate sampled hypersphere. Therefore, the accuracy of local mean calculation depends on both the distribution and number of direction vectors. IMFs accuracy increase depends on number and distribution of direction vector and vice versa, although higher number of distribution vectorsrequire more processing time.

Rehman and Mandic (2010) showed that non uniform sampling scheme generated by low-discrepancy Hammersley sequences has better distribution than that spherical angles. Furthermore, they proposed low discrepancy Hammersly sequence as the sampling scheme to provide relatively uniform sampling in higher dimensional space. After the projections in multidimensional spaces to identify extrema was done, the multiple envelope curves are calculated by the interpolation of all extrema using cubic spline for each direction. The multiple envelope curves for each particular direction vector are averaged to obtain the multivariate mean envelopes. The next procedure of MEMD is similar to univariate EMD. Similar to EMD, MEMD also has problem in decomposing multivariate intermitting signals, i.e. mode mixing. Mode mixing in multivariate decomposition may cause mode misalignment. In order to eliminate the

mode mixing in MEMD algorithm, Rehman and Mandic (2011) proposed noise assisted MEMD (NA-MEMD).The method operates onmultivariate signal (input data) and noise added in separate channels from input data. Unlike EEMD, which several WGN are directly added to the signals and multiple instances of EMD are processed. In NA-MEMD method, univariate or multivariate input data is added on several WGN channels with certain amplitude and then MEMD is applied to obtain multivariate IMFs. Several channels of multivariate IMFs corresponding to WGN are excluded while the other channels are IMFs of input signal.

4.3. Decomposition of VLF-EM data using NA-MEMD

Based on the description above, NA-MEMD and EEMD can reduce mode mixing in decomposition result. The different of two methods is NA-MEMD can apply to univariate and multivariate data while EEMD can be applied only on univariate EMD. This means that to decompose VLF-EM data (in-phase and quadrature), EEMD will be done separately and there is no guarantee that same-index IMFs would contain equal modes across data channels (mode alignment). Analysis of VLF-EM data separately is not efficient while mode alignment can facilitate the interpreter to select IMFs for denoising VLF-EM data (Sungkono et al., 2014). These are the advantages of NA-MEMD compared to EEMD. Ahrabian et al. (2013) demonstrated that decomposition result of MEMD processed data is based on the number direction used in the projection process and data of each channel. VLF-EM data are reflected by elliptical polarization of the ratio where the in-phase data is correlated to the quadrature data. Thus, bivariate VLF-EM data most probably included unbalanced bivariate (non-circular) data. Based on the Equations 1 and 2, geological noise contaminated in the bivariate data still make both in-phase and quadrature data are correlated while the other noises contaminated in the bivariate data may reduce correlation of the in-phase and the quadrature data. In order to accurate decomposition unbalanced bivariate data, Ahrabian et al. (2013) uses MEMD with high number of directions for projecting process. The other strategy is by determining the ratio power between WGN and the power of the input as described in Ahrabian et al. (2013). Sungkono et al., (2014, Submitted) has used 64 number of directions for projecting process and two channels WGN, where a channels WGN has power 3% relative to in-phase data and the others has power 3% relative to quadrature data, respectively. The strategies are quite well to reduce noise in bivariate VLF-EM (Sungkono et al., 2014, Submitted).

The NA-MEMD method alleviates mode mixing and mode misalignment in multivariate data. This is important because both mode mixing and mode misalignment due to intermitting signal in multivariate data (Rehman and Mandic, 2011) may cause serious problems such as aliasing. Since intermitting in VLF-EM data induced by anthropogenic activities and conducting clutter bodies are not rare in electromagnetic data collecting (Lin and Jeng, 2010), the NA-MEMD will be applied to identify embankment collapse in order to achieve more reliable result. Each of the IMF decomposition result from NA-MEMD represents simple oscillatory mode with variable amplitude and wavenumber where the two variables are function of distances. Because IMFs obtained VLF-EM data are reflect defined by physical data, the IMFs are usually physically meaningful. The low IMFs has high wavenumber and vice versa.To denoise VLF-EM data from Gaussian noise we can select some IMFs based on the properties of the Gaussian noise which were studied by previous researchers through energies of each IMFs (Flandrin et al., 2004; Wu and Huang, 2004). However, VLF-EM data is not only disturbed by Gaussian noise but also distorted by non-Gaussian noise (geological noise, atmospheric noise, environmental noise, noise sourced by global lightning, dust storm, etc.), denoising VLF-EM data through the selection of IMFs based on the energies of IMFs as in Kopsinis and McLaughlin (2009) is not applied (Sungkono et al., 2014). Thus, the selection of IMFs to denoise VLF-EM data should be based on the geological information (Jeng et al., 2007; Sungkono et al., 2014).

IMFs of significant geological information must be selected to reconstruct the VLF-EM data for the inversion process and to obtain ideal subsurface image. The improving results of VLF-EM data based on the NA-MEMD can be seen in Sungkono et al.(2014) to select low IMF and Sungkono et al. (Submitted) to neglect high IMF of data. Generally tipper data with high wavenumber reflects near subsurface anomalies, and vice versa (Jeng et al., 2007)while zero-crossing and peaks of tipper data indicates location in distance of subsurface target. This information is important for the interpreter during denoising tipper data for selecting appropriate IMFs and neglecting unwanted components for specific target to be determined.

4.4. Inversion method

The VLF-EM data includes in-phase (real part) and quadrature (imaginary part) that are generally used in qualitative and quantitative interpretations. The qualitative interpretation uses the Fraser filter (Fraser, 1969) and K-Hjelt filters (Karous and Hjelt, 1983) while quantitative interpretation uses inversion techniques (Monteiro Santos et al., 2006). Both interpretation approaches depend on the VLF-EM data quality. Therefore, the observed VLF-EM data should be free from noise before both interpretations are conducted. The quantitative interpretation tool have been developed by several researchers (Baranwal et al., 2011; Beamish, 2000, 1998, 1994; Kaikkonen and Sharma, 1998; Monteiro Santos et al., 2006; Oskooi and Pedersen, 2005). Generally the inversions use Finite Element Method (FEM) or Finite Difference Method (FDM) as forward modeling tool.

Monteiro Santos et al. (2006) developed software (Inv2DVLF) for quantitative interpretation of single-frequency VLF-EM data inverting the tipper data (in-phase and quadrature) using a regularization method. They used smoothness and initial model constrained based on least-squares approach (Sasaki, 2001). Thus, 2D resistivity resulted by the software depends on resistivity initial model(Khalil and Monteiro Santos, 2011). The Inv2DVLFwas developed based on a forward solution using FEM. The objective of the inversion is to obtain a 2D resistivity of subsurface, which generates a response that fits the field data within the limits of data errors. Here, we just use quantitative interpretations. Because quantitative 2D resistivity inversion of the VLF-EM data have many benefits compared to qualitative interpretation (filtering) (Abbas et al., 2012): (1) it provides comprehensive information of the subsurface resistivity distribution and (2) resistivity control (based on borehole, geotechnical and other geophysical data, i.e.: electrical, magneto telluric, ground penetrating radar, etc.)can be done at several sites of the resistivity area.

5. Comparison of EEMD, MEMD and NA-MEMD for filtering a synthetic VLF-EM data

To compare performance of EEMD, MEMD and NA-MEMD for filtering bivariate VLF-EM data, a synthetic data was used. The synthetic data was generated using Inv2DVLF software. The model contains a conductor with resistivity of 100 Ωm in a host half-space of 1000 Ωm. The distance between two synthetic points is 5 m. The synthetic data were generated with the transmitters that have a frequency of 19.8 kHz. As described above that noise disturbed VLF-EM data can be intermitting data (sources anthropogenic activity) and non-stationary data (abundant clutter energy) as the effect from conducting clutter subsurface bodies. Thus, two tones complex sinusoidal data with intermitting and abundant clutter energy which have correlated and have uncorrelated between in-phase and quadrature were added to the synthetic data. The imaginary and the real parts are a combination of two tones wavenumbers: 0.1396 (1/m) and 0.5585(1/m) for real parts and 0.2793(1/m) and 0.5585 (1/m) for imaginary parts.

The Synthetic data was processed using EEMD, MEMD, and NA-MEMD. The process of decomposing signal using EEMD requires the amplitude noise and the number of ensemble members. Wu and Huang(2009) suggested that 0.2 of amplitude noise and a few hundred for number of ensemble members would lead to a good result in most cases. In this case, standard deviation value of 0.2 of noise was used as the input data and 100 for number of ensemble members. Greater noise amplitude and number of ensemble members were experimented, but the results showed no significant difference in this case. Figure 3 shows the decomposition of a synthetically bivariate data using EEMD separately. Both mode mixing and mode misalignment was demonstrated; a single wavenumber mode was shared in both IMF1 and IMF2 in quadrature data (mode mixing) and also different wavenumber mode can be seen across different channels in IMF2 (mode misalignment). Figure 3 shows the decomposition of the same bivariate data obtained by bivariate of EMD (BEMD) (Rilling et al., 2007), that is a MEMD method for decomposing bivariate data. The number directions used in this process is 64. The highest wavenumber mode was correctly decomposed as IMF1, both mode mixing and mode misalignment were obtained in IMF 2–IMF4; mode mixing was shown in IMF2 and IMF3 in quadrature and IMF3 and IMF4 in in-phase and mode misalignment is obtained in IMF3. Thus, the EEMD and MEMD results have two problems of obtaining IMFs in synthetic data (Figure 3), i.e: mode-mixing and mode-misalignment. These problems can lead to serious error in the decomposition result which in turn would cause an error in filtering data result.

The number of extra channels and the amplitude of WGN noise are needed to process NA-MEMD.

Regarding the decomposition of IMFs completion, Rehman et al., (2013) suggested that the optimal noise level are in range 2−10% of the input data power (variance) and minimal two of noise channels are added. Here, we used two extra channels of WGN which have 3% noise power of the original data. The number directions used in NA-MEMD is 64. The decomposition result obtained by NA-MEMD method can be seen in Figure 3. As can be seen in Figure 3, both mode mixing and mode misalignment are significantly reduced, with IMF carrying only a single wavenumber mode and no instance of different modes across same-index IMF of in-phase and quadrature data. Thus, this results support the previous studies of Rehman and Mandic(2011) and Rehman et al. (2013).

IMFs produced by univariate EMD and MEMD for WGN show that each IMFs have different frequency and different wavenumber ranging in time and space domains (Flandrin et al., 2004; Jeng et al., 2007; Rehman and Mandic, 2011; Rilling et al., 2003), respectively. Consequently, the selection of several IMFs can enhance the signal and remove noise components. Further, for filtering VLF-EM data, we chose a number of IMFs to reconstruct VLF-EM filtered data. In the filtering process, we selected IMF 4–IMF6 of EEMD and NA-MEMD and IMF5 and IMF6 of MEMD to obtain filtered data (see Figure 4)while the other IMFs are unwanted because of abundant clutter energy and intermitting signals (IMF1 for MEMD and NA-MEMD) where both signals are EM noise properties. The other reason is based on the location of zero-crossing in IMFs tipper data where the selected IMFs (in-phase and quadrature) to denoise data have zero-crossing at 250 m in distances, which show the location of low-resistivity subsurface.

Figure 4 shows fitting between synthetic noise-free and filtered data of three methods. The figures demonstrate that the added noises are clearly suppressed in reconstructed data based on three methods (EEMD, MEMD and NA-MEMD). Moreover, the filtered EEMD not only has a zero-crossing at 250 m but also around 450 m in distances while the other filtered has only a zero-crossing at 250 m in distance. Generally, the zero-crossing shows the location of anomaly in distance. Further analysis using the filtered EEMD can cause the false interpretation. However, the figure shows that for this case the NA-MEMD method gives more accurate result compared to EEMD and MEMD. It means that MEMD and NA-MEMD have a better performance to denoise bivariate VLF-EM data than EEMD.

Hilbert spectrum for synthetic tipper data (in-phase and quadrature) added noise and filtered based on NA-MEMD tipper data was presented in Figure 5. The synthetic tipper data showed a distribution of the abundant clutter energy(Figure 5a and 5b) at high wavenumber. After eliminating several IMF (IMF 1–IMF 3) of NA-MEMD result to obtain filtered tripper data, Hilbert spectrum the tipper data can be shown in Figure 5c and 5d. These figures show the noises which have high wavenumber are clearly removed.

6. VLF-EM Data Acquisition and Field Data Analysis

6.1. VLF-EM Measurement

Four VLF-EM profiles were measured as shown in Figure 1. The measurements were made at 20 m each using the Scintrex device in VLF-EM mode (i.e. measuring the ratio of the polarized magnetic field) which measures in-phase and quadrature components. The data was collected on 24th April 2008. The length of the profiles was 1000 m each. Signals from two VLF transmitter stations of 19.8 kHz (NWC in Exmouth, Western Australia) and 22.3 kHz (NWC in NW Cape, Australia) were received with excellent quality in the area of study. Both VLF transmitters were selected as sources for the entire VLF survey depending on the line direction and the signal strength. Forpoints21 to 10D the 22.3 kHz transmitter was used while the other was acquired using the 19.8 kHz transmitter.

6.2. Comparison of EEMD and NA-MEMD in Field Data

Again, to demonstrate the robustness of NA-MEMD compared to EEMD, we use both NA-MEMD and EEMD methods to apply a field VLF-EM data trajectory, i.e.: line L2446 which goes through point 24 to 46. The recorded original in-phase and quadrature data revealed less information because they were wrapped by high wavenumber noises and background low-wavenumber energy (Figure 6). Decomposition results of this data set using the EEMD is shown in Figure 7a, where this field data was decomposed into four IMFs and a residue. Moreover, we also decomposed the observed data of L2446 using NA-MEMD method which is shown in Figure 7b. Both in-phase and quadrature data also decomposed into four IMFs and a residue. The uniqueness of decomposed NA-MEMD results is that the same IMFs for both decomposed results have the same wavenumber (Rehman and Mandic, 2011, 2010; Sungkono et al., 2014). This characteristic makes it

easy for the interpreters to choose the number of IMFs which should be used in filtering process.

Based on IMFs properties of EMD variants (EEMD and NA-MEMD) and principles of selecting signals from decomposed VLF-EM components which were proposed by Jeng et al. (2007),selecting proper IMFs to reconstruct data for inversion was simple. Selection of components for reconstruction was based on IMFs corresponding energy, zero-crossings, and significance of physical implication in 2-D resistivity subsurface imaging.IMF1 (of EEMD and NA-MEMD) and IMF2 (of NA-MEMD) are high-wavenumber components, thus these IMFs were excluded in the filtering process because they may have represented harmonic waves causing spurious zero-crossings in the distance domain. EEMD'sIMF 2–IMF4and NA-MEMD'sIMF3&IMF4 for both in-phase and quadrature displayed zero-crossings with physical significance. The residues (in EEMD and NA-MEMD) of both VLF-EM data usually represent the background low-wavenumber energy or drift. They have very high energy and should be deleted to improve both data and to avoid losing significant zero-crossings. Therefore, the drift was fixed by excluding the residual component IMF5. Another reason that we focused on near surface imaging that the lowest-wavenumber became unwanted because they indicate conductive or resistive bodies far from the surface.

Figures8a and 8bindicate the reconstructed in-phase and quadrature data of L2446 using EEMD and NA-MEMD, respectively; of which figures show that the data were enhanced greatly after data reconstruction. In particular, the consistency of the in-phase and quadrature data has improved. To investigate the subsurface resistivity distribution, we applied the regularized inversion technique (Inv2DVLF software) to acquire the 2D resistivity model. An environmental resistivity set of 50Ωm, 70 Ωm, 80 Ωm, 100Ωm and 150Ωm has been selected before we choose a 2D resistivity model with the lowest root mean squares error (RMSE), as suggested by Khalil and Monteiro Santos(2011).Figures 8c and 8dshowresistivity models using EEMD and NA-MEMD filtered tipper data, respectively while Figure 8a and 8b are a comparison between calculated and filtered tipper data of EEMD and NA-MEMD, respectively. The figures demonstrate that the RMSE of NA-MEMD is lower than that EEMD. It means that the filtered NA-MEMD is easier to invert than the filtered of EEMD and the inversion of NA-MEMD, as in Khalil and Monteiro Santos (2011).

The resistivity imaging (2-D resistivity) in Figure 8c and 8 d give the possible subsurface type and physical properties (fluid saturation, porosity, etc.) of the rocks. Interpretation of the inversion results were based on the geological conditions and dynamical systems(horizontal and vertical deformation, saturated saline fluid of mud, etc.), which were caused in this area and the physical properties of the subsurface. High resistivity zones may correspond to the embankment material while the low resistivity zones which appear in depths between 0 and 15 meter (the embankment material) correspond to the embankment fracture infiltrated by saline mud. The other low resistivity zone may be affected by geological variation in the area, i.e.: silty clay, silty sand and clay (Figure 2), which have low resistivity (Setiawan, 2010). Based on this condition, the low resistivity anomalies (Figure 8c and 8d) exhibits fractures. The fractures can be saturated media by mud fluid which diffuse from the underground onto near surface. Thus, the NA-MEMD processed model (Figure 8d) is more reasonable if compared to the EEMD processed model (Figure 8c). Therefore, four significant resistivity anomalies of NA-MEMD filtered model are presumably four fractures through embankment which were contained by mud fluid. In addition, high resistivity anomaly around 0 to 12 m in depth is not considered as saturated embankment.

6.3. Interpretation and Discussion

Based on the above results, all of the VLF-EM data denoted filtering process using the NA-MEMD approach. Then, the NA-MEMD filtered data were inverted using Inv2DVLF software (Monteiro Santos et al., 2006) and the results are presented as subsurface2D cross-sections. Based on Figure 2, the embankment is characterized by higher N-SPT value in opposition to the layers beneath it. It indicates that the embankment layer has a higher resistivity value compared to the subsurface below (Sudha et al., 2009). Moreover, the continuous deformation as an effect of mud eruption in LUSI area will result in fracture or crack (Mazzini et al., 2009), because embankment materials can be easily deformed. If crack or fracture occurs through the LUSI embankment then this fracture would be saturated by liquid from the mud material which has high salt content, thus the fracture will have low resistivity values. Based on this reasoning, the low resistivity zones in the embankment layer may be interpreted as fractures or faults through the embankment.

Figure 9 shows a complete interpretation result of 2D resistivity imaging of each VLF-EM profiles. The discontinuities in resistivity profiles indicate cracks or faults (Watukosek and Siring Faults) while low resistivity zones in near surface embankments, around point 40 and 43(see Figure 1b), shows new embankment after the collapse of the initial embankment (see Table 1).Both crack and fault through LUSI embankment could possibly cause some collapses of LUSI embankments on the point of 44, 44.1, 45, 21 and between point of 44 and 44.1 (see Table 1), because some locations are often damaged embankments correlating to locations of faults or fractures. Moreover this argument is proposed based on the embankment collapse periods (one day for point 44 and thirty nine days for point 45) in line L4345 after both points are identified having fractures or faults which run through the fluid saturation.

Figure 10 shows before and after embankment collapse conditions between point 44 and 44.1 (L4345 in VLF-EM line survey, see Figure 1) on 8June 2008, also embankment collapse at point 44.1 and 45 (L4345 in VLF-EM line survey, see Figure 1) on 25August 2008 and 2 June 2008, respectively. Figure 10a and 10b show that the embankment collapse was initialized by fracture which is the origin of a weak zone in the embankment. This weak zone was identified using VLF-EM data with applied NA-MEMD and inversion process, four months before fracture can be seen on the surface (Figure 10a) and embankment collapse (Figure 10b) to points between 44.1 and 44. Based on the above description, VLF-EM is able to identify weak zones of embankments caused by fracture, fault, and fluid saturation.

The location of point 45 to 44.1 is close to the main LUSI eruption, which is called the ring embankment. This embankment was constructed to direct mud flow in order to facilitate the disposal of mud to Porong river. Because the ring embankment is crossed by Siring Fault (see Figure 1 and 9), it suffers vertical and horizontal deformations (Abidin et al., 2008; Andreas et al., 2011; Fukushima et al., 2009). To recover the ring embankment, an amount of soil (which has certain specifications) up to 176 truck/day were needed and for that reason the embankment cannot be maintained. Thus, the LUSI embankment collapse was also an effect of deformation. Furthermore, at points 44 and 47, LUSI embankment is passed by Watukosek fault. This fault might be the cause of the sudden embankment collapse in February 2009 (Figure 11).

7. Conclusions

Assessment on the stability of embankments can be conducted through mapping of fractures and faults. In this study, the VLF-EM method was used to identify potential reason for the LUSI embankment collapse. VLF-EM data was collected along an embankment with a large history of collapses. These profiles were filtered to remove unwanted noises. Illustrative example and performance evaluation have been provided to demonstrate the robustness of the NA-MEMD method in comparison with the EEMD and MEMD for VLF-EM data filtering. VLF-EM data were filtered and inverted to obtain 2-D resistivity profiles. The resistivity profiles are compared with the results of borehole and NSPT data and also correlated with LUSI embankment failures data. Results of 2-D inversion VLF-EM and borehole showed that high resistivity zones have about 15 m depth, which could correspond to the embankment material while low resistivity zones below the interpreted site subsurface condition may represent areas saturated by mud fluid. Other low resistivity zones which appear in the embankment layers may represent fracture zones and faults saturated with fluid and mud. Fractures which occurred in the embankment might be caused by weak material, based on the NSPT data, and due to deformations in this area (Abidin et al., 2008; Fukushima et al., 2009; Rudolph et al., 2013).

The fractures and faults through LUSI embankment represent areas of potential collapse. This result is supported by embankment collapses recorded by BPLS teams in the fracture and fault areas identified recently. The results show that the VLF-EM method and data processing can be used to identify potential collapse around LUSI area in the future.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to Dr. Widya Utama, Dr. Dwa Desa Warnana and BPLS team for their permission to use supporting data to be published. We greatly thank reviewers and editors for improving the quality of the manuscript. The main author greatly acknowledges the Directorate General of the Higher Education of the Republic of Indonesia (DIKTI) for supporting him through Unggulan Scholarship (Beasiswa Unggulan) grant. This work was supported by a grant which is provided by the Institute of Research and Public Services, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesiafor ASB and BJS.

References

Abbas, A.M., Khalil, M.A., Massoud, U., Monterio Santos, F., Mesbah, H.A., Lethy, A., Soliman, M., Ragab, E.S.A., 2012. The implementation of multi-task geophysical survey to locate Cleopatra Tomb at Tap-Osiris Magna, Borg El-Arab, Alexandria, Egypt "Phase II". NRIAG J. Astron. Geophys. 1, 1–11. doi:10.1016/j.nrjag.2012.11.001

Abidin, H.Z., Davies, R.J., Kusuma, M.A., Andreas, H., Deguchi, T., 2008. Subsidence and uplift of Sidoarjo (East Java) due to the eruption of the Lusi mud volcano (2006–present). Environ. Geol. 57, 833–844. doi:10.1007/s00254-008-1363-4

Agustawijaya, D.S., Sukandi, 2012. The Stability Analysis of the Lusi Mud Volcano Embankment Dams using FEM with a Special Reference to the Dam Point P10.D. Civ. Eng. Dimens. 14. doi:10.9744/ced.14.2.100-109

Ahrabian, A., Rehman, N.U., Mandic, D., 2013. Bivariate Empirical Mode Decomposition for Unbalanced Real-World Signals. IEEE Signal Process. Lett. 20, 245–248. doi:10.1109/LSP.2013.2242062

Al-Fares, W., 2011. Contribution of the geophysical methods in characterizing the water leakage in Afamia B dam, Syria. J. Appl. Geophys. 75, 464–471. doi:10.1016/j.jappgeo.2011.07.014

Altaf, M.U.B., Gautama, T., Tanaka, T., Mandic, D.P., 2007. Rotation Invariant Complex Empirical Mode Decomposition, in: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. Presented at the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007, pp. III–1009–III–1012. doi:10.1109/ICASSP.2007.366853

Andreas, H., Abidin, H.Z., Kusuma, M.A., Gumilar, I., 2011. After Four Years of Ground Displacements Following LUSI Mud Volcano Eruption; Sign of its Ending Eruption, in: FIG Working Week 2011. Presented at the Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco.

Baranwal, V.C., Franke, A., Börner, R.-U., Spitzer, K., 2011. Unstructured grid based 2-D inversion of VLF data for models including topography. J. Appl. Geophys. 75, 363–372. doi:10.1016/j.jappgeo.2011.07.011

Barr, R., Jones, D.L., Rodger, C.J., 2000. ELF and VLF radio waves. J. Atmospheric Sol.-Terr. Phys. 62, 1689–1718. doi:10.1016/S1364-6826(00)00121-8

Beamish, D., 1994. Two-dimensional, regularised inversion of VLF data. J. Appl. Geophys. 32, 357–374. doi:10.1016/0926-9851(94)90034-5

Beamish, D., 1998. Three-dimensional modelling of VLF data. J. Appl. Geophys. 39, 63–76. doi:10.1016/S0926-9851(98)00012-3

Beamish, D., 2000. Quantitative 2D VLF data interpretation. J. Appl. Geophys. 45, 33–47. doi:10.1016/S0926-9851(00)00017-3

Bedrosian, P.A., Burton, B.L., Powers, M.H., Minsley, B.J., Phillips, J.D., Hunter, L.E., 2012. Geophysical investigations of geology and structure at the Martis Creek Dam, Truckee, California. J. Appl. Geophys. 77, 7–20. doi:10.1016/j.jappgeo.2011.11.002

Bolève, A., Revil, A., Janod, F., Mattiuzzo, J.L., Fry, J.-J., 2009. Preferential fluid flow pathways in embankment dams imaged by self-potential tomography. Surf. Geophys. 7, 447–462. doi:10.3997/1873-0604.2009012

Bosch, F.P., Müller, I., 2001. Continuous gradient VLF measurements: a new possibility for high resolution mapping of karst structures. First Break 19, 343–350. doi:10.1046/j.1365-2397.2001.00173.x

Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., Hong, S.-H., 2013. Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. Remote Sens. Environ. 128, 150–161. doi:10.1016/j.rse.2012.10.015

Chen, C., Liu, J., Xia, J., Li, Z., 2006. Integrated Geophysical Techniques in Detecting Hidden Dangers in River Embankments. J. Environ. Eng. Geophys. 11, 83–94. doi:10.2113/JEEG11.2.83

Dahlin, T., Johansson, S., 1995. Resistivity Variations in an Earth Embankment Dam in Sweden. Presented at the 1st EEGS Meeting.

Dahlin, T., Sjödahl, P., Johansson, S., 2008. Embankment Dam Seepage Evaluation from Resistivity Monitoring Data. Presented at the 14th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics.

Davies, R.J., Brumm, M., Manga, M., Rubiandini, R., Swarbrick, R., Tingay, M., 2008. The East Java mud volcano (2006 to present): An earthquake or drilling trigger? Earth Planet. Sci. Lett. 272, 627–638. doi:10.1016/j.epsl.2008.05.029

Davies, R.J., Mathias, S.A., Swarbrick, R.E., Tingay, M.J., 2011. Probabilistic longevity estimate for the LUSI mud volcano, East Java. J. Geol. Soc. 168, 517–523. doi:10.1144/0016-76492010-129

Deidda, G.P., Ranieri, G., 2005. Seismic tomography imaging of an unstable embankment. Eng. Geol. 82, 32–42. doi:10.1016/j.enggeo.2005.09.017

Di Prinzio, M., Bittelli, M., Castellarin, A., Pisa, P.R., 2010. Application of GPR to the monitoring of river embankments. J. Appl. Geophys. 71, 53–61. doi:10.1016/j.jappgeo.2010.04.002

Everett, M.E., Weiss, C.J., 2002. Geological noise in near-surface electromagnetic induction data. Geophys. Res. Lett. 29, 10–1–10–4. doi:10.1029/2001GL014049

Flandrin, P., Rilling, G., Goncalves, P., 2004. Empirical mode decomposition as a filter bank. IEEE Signal Process. Lett. 11, 112–114. doi:10.1109/LSP.2003.821662

Fleureau, J., Kachenoura, A., Albera, L., Nunes, J.-C., Senhadji, L., 2011a. Multivariate empirical mode decomposition and application to multichannel filtering. Signal Process. 91, 2783–2792. doi:10.1016/j.sigpro.2011.01.018

Fleureau, J., Nunes, J.-C., Kachenoura, A., Albera, L., Senhadji, L., 2011b. Turning Tangent Empirical Mode Decomposition: A Framework for Mono- and Multivariate Signals. IEEE Trans. Signal Process. Publ. IEEE Signal Process. Soc. 59, 1309–1316. doi:10.1109/TSP.2010.2097254

Fraser, D.C., 1969. Contouring of VLF-EM data. Geophysics 34, 958–967. doi:10.1190/1.1440065

Fukushima, Y., Mori, J., Hashimoto, M., Kano, Y., 2009. Subsidence associated with the LUSI mud eruption, East Java, investigated by SAR interferometry. Mar. Pet. Geol. 26, 1740–1750. doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.02.001

Golebiowski, T., 2010. Velocity analysis in the GPR method for loose-zones detection in the river embankments, in: 2010 13th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR). Presented at the 2010 13th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), pp. 1–6. doi:10.1109/ICGPR.2010.5550220

Gürer, A., Bayrak, M., Gürer, Ö.F., 2009. A VLF survey using current gathering phenomena for tracing buried faults of Fethiye–Burdur Fault Zone, Turkey. J. Appl. Geophys. 68, 437–447. doi:10.1016/j.jappgeo.2009.03.011

Hayakawa, M., Molchanov, O.A., Ondoh, T., Kawai, E., 1997. On the precursory signature of Kobe earthquake on VLF subionospheric signals, in: 1997 International Symposium on Electromagnetic Compatibility Proceedings. Presented at the 1997 International Symposium on Electromagnetic Compatibility Proceedings, pp. 72–75. doi:10.1109/ELMAGC.1997.617080

Hu, M., Liang, H., 2011. Intrinsic mode entropy based on multivariate empirical mode decomposition and its application to neural data analysis. Cogn. Neurodyn. 5, 277–284. doi:10.1007/s11571-011-9159-8

Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C.C., Liu, H.H., 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proc. R. Soc. Lond. Ser. Math. Phys. Eng. Sci. 454, 903–995. doi:10.1098/rspa.1998.0193

Huang, N.E., Wu, M.C., Long, S.R., Shen, S.S.P., Qu, W., Gloersen, P., Fan, K.L., 2003. A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis. Proc R Soc Lond A 459, 2317–2345.

Istadi, B.P., Handoko, T.W., Sunardi, E., Hadi, S., Sawolo, N., 2012. Mud Volcano and Its Evolution, in: Dar, I.A. (Ed.), Earth Sciences. InTech.

Istadi, B.P., Pramono, G.H., Sumintadireja, P., Alam, S., 2009. Modeling study of growth and potential geohazard for LUSI mud volcano: East Java, Indonesia. Mar. Pet. Geol. 26, 1724–1739. doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.03.006

Jackson, P.., Northmore, K.., Meldrum, P.., Gunn, D.., Hallam, J.., Wambura, J., Wangusi, B., Ogutu, G., 2002. Non-invasive moisture monitoring within an earth embankment — a precursor to failure. NDT E Int. 35, 107–115. doi:10.1016/S0963-8695(01)00030-5

Jeng, Y., Huang, C.-L., Tong, L.-T., Lin, M.-J., Chen, C.-S., Huang, H.-H., 2012. Mapping possible subsurface granitic bodies in the northeastern Taiwan mountain belt using the VLF-EM method. J. Appl. Geophys. 85, 25–36. doi:10.1016/j.jappgeo.2012.06.010

Jeng, Y., Lin, M.-J., Chen, C.-S., Wang, Y.-H., 2007. Noise reduction and data recovery for a VLF-EM survey using a nonlinear decomposition method. Geophysics 72, F223–F235. doi:doi:10.1190/1.2752561

Jones, G., Zielinski, M., Sentenac, P., 2012. Mapping desiccation fissures using 3-D electrical resistivity tomography. J. Appl. Geophys. 84, 39–51. doi:10.1016/j.jappgeo.2012.06.002

Kaikkonen, P., Sharma, S.P., 1998. 2-D nonlinear joint inversion of VLF and VLF-R data using

simulated annealing. J. Appl. Geophys. 39, 155–176. doi:10.1016/S0926-9851(98)00025-1

Karastathis, V.., Karmis, P.., Drakatos, G., Stavrakakis, G., 2002. Geophysical methods contributing to the testing of concrete dams. Application at the Marathon Dam. J. Appl. Geophys. 50, 247–260. doi:10.1016/S0926-9851(02)00145-3

Karous, M., Hjelt, S.E., 1983. Linear Filtering of VLF Dip-Angle Measurements. Geophys. Prospect. 31, 782–794. doi:10.1111/j.1365-2478.1983.tb01085.x

Khalil, M.A., Monteiro Santos, F.A., 2011. Comparative study between filtering and inversion of VLF-EM profile data. Arab. J. Geosci. 4, 309–317. doi:10.1007/s12517-010-0168-4

Kopf, A.J., 2002. Significance of Mud Volcanism. Rev. Geophys. 40, 1–52. doi:10.1029/2000RG000093

Kopsinis, Y., McLaughlin, S., 2009. Development of EMD-Based Denoising Methods Inspired by Wavelet Thresholding. IEEE Trans. Signal Process. 57, 1351–1362. doi:10.1109/TSP.2009.2013885

Lin, M.-J., Jeng, Y., 2010. Application of the VLF-EM method with EEMD to the study of a mud volcano in southern Taiwan. Geomorphology 119, 97–110. doi:10.1016/j.geomorph.2010.02.021

Loperte, A., Bavusi, M., Cerverizzo, G., Lapenna, V., Soldovieri, F., 2011. Ground Penetrating Radar in Dam Monitoring: The Test Case of Acerenza (Southern Italy). Int. J. Geophys. 2011. doi:10.1155/2011/654194

Lupi, M., Saenger, E.H., Fuchs, F., Miller, S.A., 2013. Lusi mud eruption triggered by geometric focusing of seismic waves. Nat. Geosci. 6, 642–646. doi:10.1038/ngeo1884

Mandic, D., Souretis, G., Leong, W.Y., Looney, D., Van Hulle, M.M., Toshihisa, T., 2008. Complex Empirical Mode Decomposition for Multichannel Information Fusion, in: Signal Processing Techniques for Knowledge Extraction and Information Fusion. Springer, pp. 243–260.

Mandic, D.P., Goh, V.S.L., 2009. Complex valued nonlinear adaptive filters noncircularity, widely linear, and neural models. Wiley, Hoboken, N.J.

Mazzini, A., Etiope, G., Svensen, H., 2012. A new hydrothermal scenario for the 2006 Lusi eruption, Indonesia. Insights from gas geochemistry. Earth Planet. Sci. Lett. 317–318, 305–318. doi:10.1016/j.epsl.2011.11.016

Mazzini, A., Nermoen, A., Krotkiewski, M., Podladchikov, Y., Planke, S., Svensen, H., 2009. Strike-slip faulting as a trigger mechanism for overpressure release through piercement structures. Implications for the Lusi mud volcano, Indonesia. Mar. Pet. Geol. 26, 1751–1765. doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.03.001

Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Sørenssen, A., Istadi, B., 2007. Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. Earth Planet. Sci. Lett. 261, 375–388. doi:10.1016/j.epsl.2007.07.001

McNeill, J.D., Labson, V.F., 1993. Geological Mapping Using VLF Radio Fields, in: Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Application, Parts B. SEG Books, pp. 521–640.

Monteiro Santos, F.A., Mateus, A., Figueiras, J., Gonçalves, M.A., 2006. Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method — A case study. J. Appl. Geophys. 60, 115–125. doi:10.1016/j.jappgeo.2006.01.002

Narita, K., 2000. Design and Construction of Embankment Dams. Dept. of Civil Eng., Aichi Institute of Technology.

Oh, S., 2012. Safety assessment of dams by analysis of the electrical properties of the embankment material. Eng. Geol. 129, 76–90. doi:10.1016/j.enggeo.2012.01.016

Osazuwa, I.B., Chinedu, A.D., 2008. Seismic refraction tomography imaging of high-permeability zones beneath an earthen dam, in Zaria area, Nigeria. J. Appl. Geophys. 66, 44–58. doi:10.1016/j.jappgeo.2008.08.006

Oskooi, B., Pedersen, L.B., 2005. Comparison between VLF and RMT methods: A combined tool for mapping conductivity changes in the sedimentary cover. J. Appl. Geophys. 57, 227–241. doi:10.1016/j.jappgeo.2005.01.002

Panthulu, T.V., Krishnaiah, C., Shirke, J.M., 2001. Detection of seepage paths in earth dams using self-potential and electrical resistivity methods. Eng. Geol. 59, 281–295. doi:10.1016/S0013-7952(00)00082-X

Paterson, N., Ronka, V., 1971. Five years of surveying with the Very Low Frequency—Electro magnetics method. Geoexploration 9, 7–26. doi:10.1016/0016-7142(71)90085-8

Rehman, N., Mandic, D.P., 2010. Multivariate empirical mode decomposition. Proc. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci. 466, 1291–1302. doi:10.1098/rspa.2009.0502

Rehman, N., Mandic, D.P., 2011. Filter Bank Property of Multivariate Empirical Mode Decomposition. IEEE Trans. Signal Process. 59, 2421–2426. doi:10.1109/TSP.2011.2106779

Rehman, N., Park, C., Huang, N.E., Mandic, D.P., 2013. EMD Via MEMD: Multivariate Noise-Aided Computation of Standard EMD. Adv. Adapt. Data Anal. 05, 1350007. doi:10.1142/S1793536913500076

Rilling, G., Flandrin, P., Goncalves, P., 2003. On Empirical Mode Decomposition and its algorithms. Presented at the The 6th IEEE/EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, Grado(I), Italy.

Rilling, G., Flandrin, P., Goncalves, P., Lilly, J.M., 2007. Bivariate Empirical Mode Decomposition. IEEE Signal Process. Lett. 14, 936–939. doi:10.1109/LSP.2007.904710

Rudolph, M.L., Karlstrom, L., Manga, M., 2011. A prediction of the longevity of the Lusi mud eruption, Indonesia. Earth Planet. Sci. Lett. 308, 124–130. doi:10.1016/j.epsl.2011.05.037

Rudolph, M.L., Shirzaei, M., Manga, M., Fukushima, Y., 2013. Evolution and future of the Lusi mud eruption inferred from ground deformation. Geophys. Res. Lett. 40, 1089–1092. doi:10.1002/grl.50189

Sasaki, Y., 2001. Full 3-D inversion of electromagnetic data on PC. J. Appl. Geophys. 46, 45–54. doi:10.1016/S0926-9851(00)00038-0

Sawolo, N., Sutriono, E., Istadi, B.P., Darmoyo, A.B., 2009. The LUSI mud volcano triggering controversy: Was it caused by drilling? Mar. Pet. Geol. 26, 1766–1784. doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.04.002

Sawolo, N., Sutriono, E., Istadi, B.P., Darmoyo, A.B., 2010. Was LUSI caused by drilling? – Authors reply to discussion. Mar. Pet. Geol. 27, 1658–1675. doi:10.1016/j.marpetgeo.2010.01.018

Setiawan, T., 2010. Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo Dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Mendapatkan Bidang Patahan. Institute Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Sjödahl, P., Dahlin, T., Johansson, S., 2005. Using resistivity measurements for dam safety evaluation at Enemossen tailings dam in southern Sweden. Environ. Geol. 49, 267–273.

Sjödahl, P., Dahlin, T., Johansson, S., 2009. Embankment dam seepage evaluation from resistivity monitoring data. Surf. Geophys. 7, 463–474. doi:10.3997/1873-0604.2009023

Sjödahl, P., Dahlin, T., Johansson, S., Loke, M.H., 2008. Resistivity monitoring for leakage and internal erosion detection at Hällby embankment dam. J. Appl. Geophys. 65, 155–164. doi:10.1016/j.jappgeo.2008.07.003

Sjödahl, P., Dahlin, T., Zhou, B., Johansson, S., 2002. Monitoring of leakage in embankment dams through resistivity measurements – A 2.5D modelling study. Presented at the 8th EEGS-ES Meeting.

Sudha, K., Israil, M., Mittal, S., Rai, J., 2009. Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations. J. Appl. Geophys. 67, 74–79. doi:10.1016/j.jappgeo.2008.09.012

Sukardi, 1992. Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa Timur. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan.

Sungkono, Bahri, A.S., Monteiro Santos, F.A., Ari, I., Santosa, B.J., Submitted. Application of Multivariate Empirical Mode Decomposition in the VLF-EM Data to Identify underground river.

Sungkono, Bahri, A.S., Warnana, D.D., Monteiro Santos, F.A., Santosa, B.J., 2014. Fast, Simultaneous and Robust VLF-EM Data Denoising and Reconstruction via Multivariate Empirical Mode Decomposition. Comput. Geosci. doi:10.1016/j.cageo.2014.03.007

Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Wibowo, H.T., Shimamoto, T., Tadai, O., 2010. Fluid transport properties and estimation of overpressure at the Lusi mud volcano, East Java Basin. Eng. Geol. 116, 73–85. doi:10.1016/j.enggeo.2010.07.008

Tingay, M., Heidbach, O., Davies, R., Swarbrick, R., 2008. Triggering of the Lusi mud eruption: Earthquake versus drilling initiation. Geology 36, 639–642. doi:10.1130/G24697A.1

Wang, Y.-H., Yeh, C.-H., Young, H.-W.V., Hu, K., Lo, M.-T., 2014. On the computational complexity of the empirical mode decomposition algorithm. Phys. Stat. Mech. Its Appl. 400, 159–167. doi:10.1016/j.physa.2014.01.020

Wu, Z., Huang, N.E., 2004. A study of the characteristics of white noise using the empirical mode decomposition method. Proc. R. Soc. Lond. Ser. Math. Phys. Eng. Sci. 460, 1597–1611. doi:10.1098/rspa.2003.1221

Wu, Z., Huang, N.E., 2009. Ensemble empirical mode decomposition: A noise-assisted data analysis method. Adv. Adapt. Data Anal. 01, 1–41. doi:10.1142/S1793536909000047

Zhu, P., Leng, Y.B., Y.Zhou, Jiang, G.L., 2011. Safety Inspection Strategy for Earth Embankment Dams using Fully Distributed Sensing. Procedia Eng. 8, 520–526. doi:10.1016/j.proeng.2011.03.094

Table

Table 1 Record of LUSI embankment failure from 2007 to 2009

Num.	Date	Description	Position
1	2-Jan-07	Overtopping	P44-P44.1
2	9-Apr-07	Overtopping	P43
3	10-Apr-07	Collapse	P5-P56
4	12-Apr-07	Collapse	P5-P56
5	22-Apr-07	Collapse	P47
6	22-Apr-07	Overtopping	P45
7	25-Apr-07	Collapse	P47
8	28-Apr-07	Overtopping	P15
9	2-May-07	Collapse	P47
10	3-May-07	Collapse	P47
11	4-May-07	Overtopping	P44
12	5-May-07	Collapse	P44.1-P45
13	7-May-07	Collapse	P45
14	7-May-07	Overtopping	P44-P44.1
15	10-May-07	Collapse	P43
16	15-May-07	Collapse	P43-P44
17	28-May-07	Collapse	P25
18	15-Jun-07	Collapse	P25
19	15-Jun-07	Overtopping	P45
20	29-Jun-07	Collapse	P25
21	30-Jun-07	Collapse	P25
22	30-Jun-07	Collapse	P25-P46
23	8-Aug-07	Collapse	P25
24	20-Sep-07	Overtopping	P45
25	22-Sep-07	Collapse	P44.1
26	23-Sep-07	Overtopping	P45
27	5-Oct-07	Overtopping	P45
28	14-Oct-07	Collapse	P42-P43
29	16-Oct-07	Collapse	P42
30	17-Oct-07	Overtopping	P44.1-P45
31	18-Oct-07	Collapse	P42.2
32	21-Oct-07	Collapse	P25
33	26-Oct-07	Overtopping	P44.1
34	31-Oct-07	Overtopping	P35
35	28-Nov-07	Overtopping	P44.1-P45
36	1-Dec-07	Overtopping	P45
37	20-Dec-07	Overtopping	P44.1
38	21-Dec-07	Overtopping	P44.1-P45
39	31-Dec-07	Overtopping	P44.1
40	3-Jan-08	Collapse	P64.2
41	9-Jan-08	Overtopping	P44-P45
42	4-Feb-08	Overtopping	P44.1
43	8-Feb-08	Overtopping	P44.2
44	9-Feb-08	Overtopping	P44.2
45	10-Feb-08	Collapse	P40-P41
46	19-Feb-08	Overtopping	P44.1-P44.2
47	11-Mar-08	Overtopping	P44.2
48	19-Mar-08	Overtopping	P44.2
49	11-Apr-08	Collapse	P43
50	25-Apr-08	Collapse	P44
51	29-Apr-08	Collapse	P44
52	3-May-08	Collapse	P44
53	22-May-08	Collapse	P6-61
54	29-May-08	Overtopping	P45
55	2-Jun-08	Collapse	P45
56	8-Jun-08	Collapse	Between P44.1-P44
57	14-Jun-08	Collapse	Between P44.1-P44
58	25-Aug-08	Collapse	P44.1
59	25-Aug-08	Overtopping	P44
60	24-Oct-08	Overtopping	P44
61	3-Nov-08	Overtopping	P44.1
62	3-Jan-09	Overtopping	P45
63	4-Jan-09	Overtopping	P44.1
64	13-Jan-09	Collapse	P44.1
65	10-Feb-09	Collapse	P21A
66	3-Mar-09	Collapse	P44.1
67	7-Mar-09	Collapse	P45
68	10-Mar-09	Collapse	Between P16 and P17
69	1-Jul-09	Collapse	P79
70	3-Aug-09	Collapse	P77-P78
71	10-Aug-09	Collapse	P76-P77
72	28-Aug-09	Collapse	P76-P77
73	13-Sep-09	Collapse	P67
74	23-Dec-09	Collapse	P80-P81

Figures

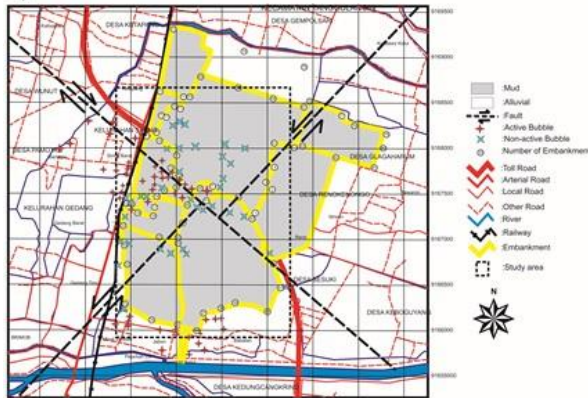
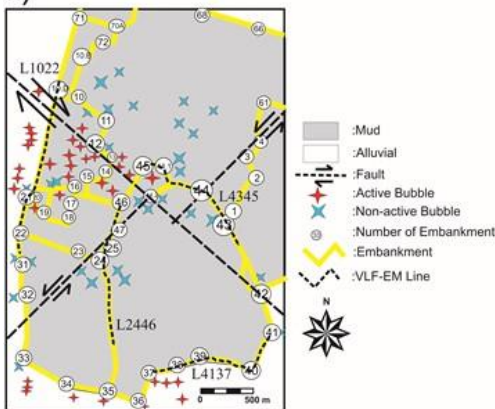



Figure 1 Survey site. (a) Geological Map of the LUSI area (Sukardi, 1992), location of active and inactive gas bubble in December 2008, and two faults (Siring Fault with NE-SW direction and Watukosek Fault with NW-SE) identified based on the location of bubbles, gravity data (Istadi et al., 2009), and the major trend of horizontal displacement (Istadi et al., 2012). (b) Profile lines survey in LUSI embankment observed in 24th April 2008.

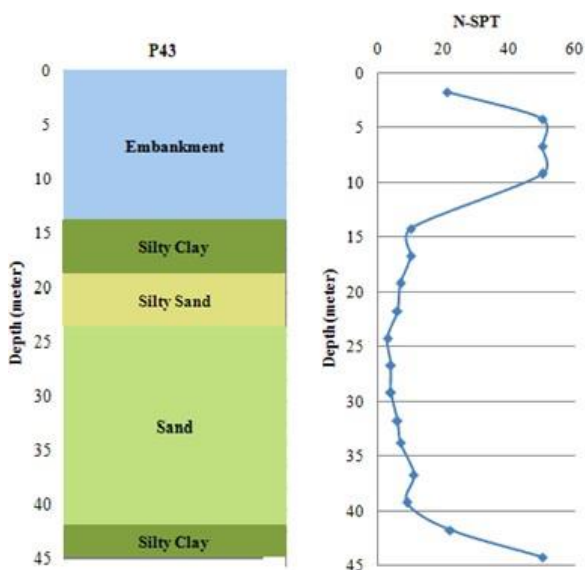



Figure 2 Lithological log and N-SPT value at drill point 43.

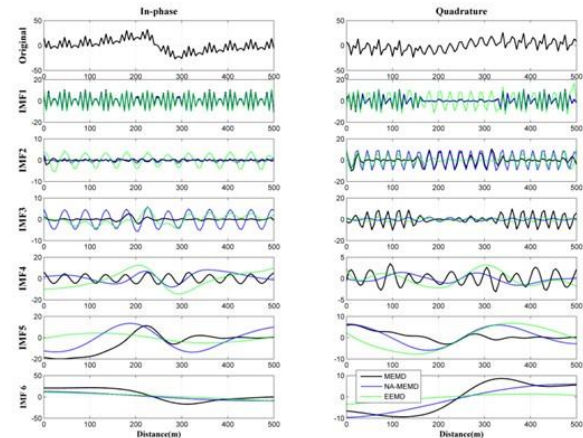



Figure 3 Comparison between EEMD, MEMD and NA-MEMD decomposed results for a synthetic VLF-EM data added noise. Mode mixing and mode misalignment were shown in IMF 1–IMF 3 and IMF 2–IMF 4 in EEMD and MEMD, respectively. Both problem of mode mixing and mode misalignment was clearly reduced in NA-MEMD.

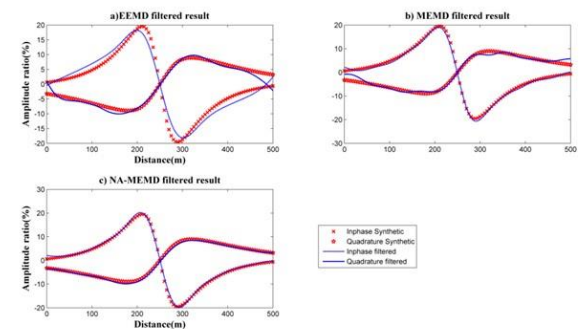



Figure 4 Comparison results of EEMD, MEMD and NA-MEMD to denoisea synthetic of VLF-EM data. Based on the fitting between synthetic noise-free and filtered data the result of NA-MEMD in this case shows better result compared to MEMD and EEMD results.

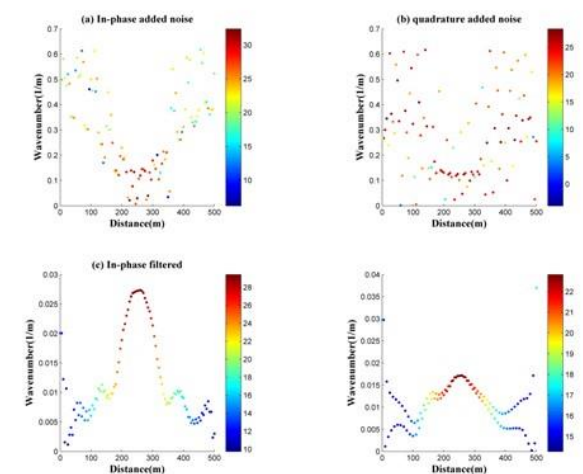



Figure 5 Comparison Hilbert spectrum between the synthetic tipper data added noises and filtered based on the NA-MEMD decomposition which are spectrogram illustrating an energy-wavenumber-distance distribution of the data. (a) in-phase synthetic data. (b) quadrature synthetic data. (c) in-phase filtered data. (d) quadrature filtered data.

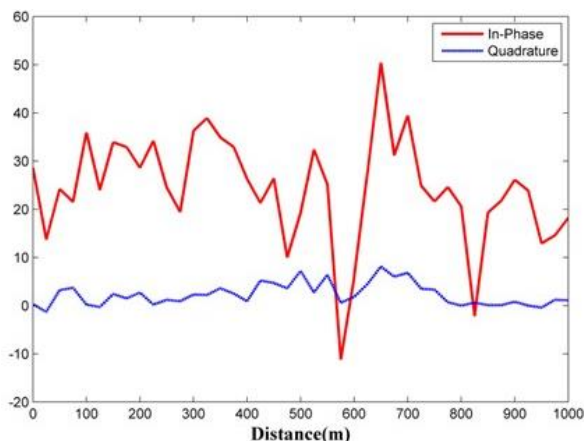



Figure 6 Observed VLF-EM data for line L2446.

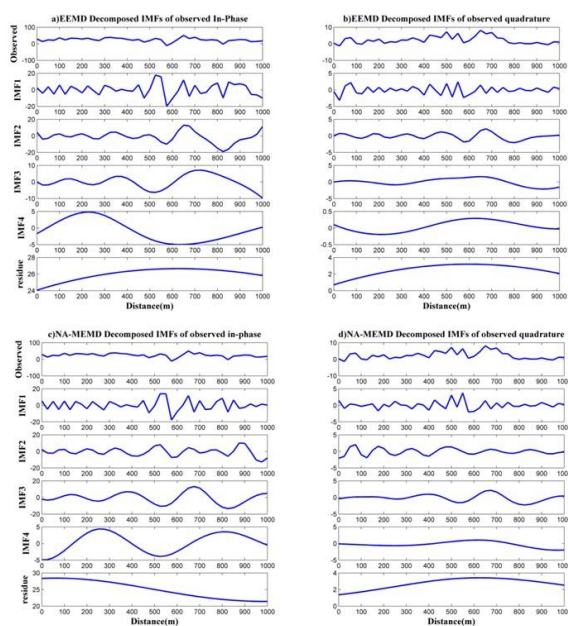



Figure 7 Comparison between the EEMD and NA-MEMD decomposition results for Line L2446. (a,b) IMFs of the in-phase and quadrature data generated using the EEMD. (c,d) IMFs of the in-phase quadrature data generated using the NA-MEMD.

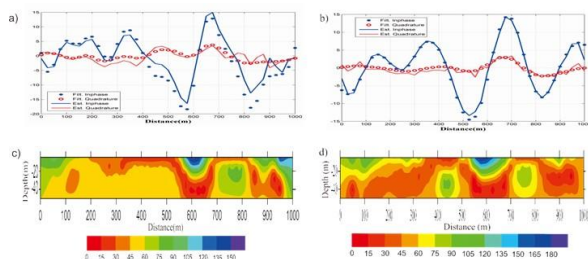



Figure 8 Comparison of the EEMD and NA-MEMD filtering of line L2446. (a) L2446 filtered curves by eliminating the noisy first IMF and the residuefrom EEMD decomposition results and inversion of synthetic data (RMSE=1.2). (b) Inversion model of L2446 using the EEMD filtered tipper data. (c) L2446 filtered curves by eliminating the noisy first and twist IMFs and the residue from NA-MEMD decomposition results and inversion of synthetic data (RMSE=0.5). (d) Inversion model of L2446 using the NA-MEMD filtered tipper data.

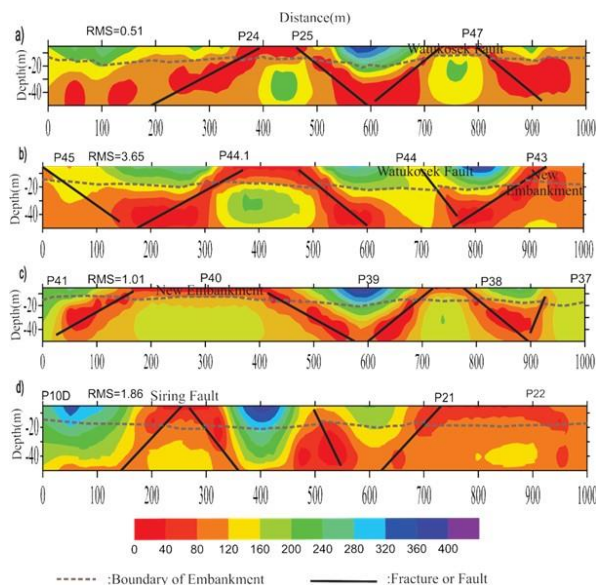



Figure 9 Interpretation results of 2D resistivity obtained from inverting VLF-EM data each line; (a) L2446, (b) L4345, (c) L4137, and (d) L1022. Fluid of LUSI eruptionsaturated to embankment through fractures or faults are identified. A day and ten days after fluid saturation identified at point 43 and point 45 (in line L4345), respectively, were collapsed, see Table 1.

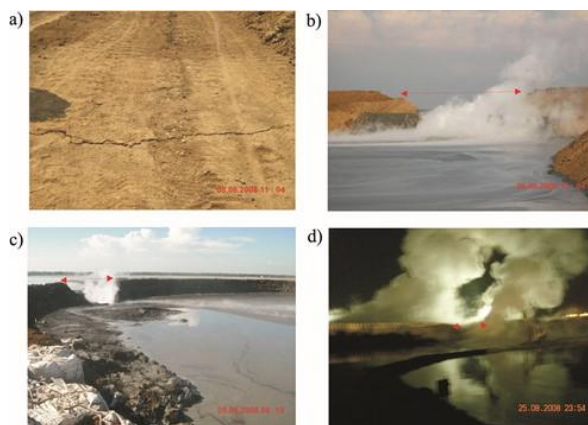



Figure 10 Picture of crack through embankment and embankment collapse in L4345 after being identified by VLF-EM method. (a) Crack between point 44 and 44.1 in embankment surface on the 8thJune 2008 (after forty five days being identified by VLF-EM profile in figure 10b). (b) Embankment collapse between point 44 and 44.1 on the on the 8th June 2008 (after four hours of visible crack on the surface of embankment). (c) Embankment collapse at point 45 on the 2nd June 2008 (after twenty nine days being identified by VLF-EM profile in figure 10b). (d) Embankment collapse at point 44.1 on the 25th August 2008. Embankment collapse corresponding to fracture or fault contains fluid of LUSI.

19 Penilaian Stabilitas Tanggul Lumpur Sidoarjo

Amien Widodo, Mustain Arif
Pusat Studi Kebumian, Bencana dan Perubahan Iklim LPPM ITS Surabaya
Email: amienwidodo@yahoo.com

Abstrak – *Semburan lumpur Sidoarjo sudah berlangsung lebih dari 7 tahun dan saat ini debit semburan mulai menurun. Ancaman jebolnya tanggul masih dikhawatirkan masyarakat dikarenakan tanggul yang mengelilingi lumpur khususnya di sisi barat. Tanggul jebol akan berisiko terjadinya bencana dikarenakan adanya jalur rel kereta api dan jalan raya yang masih aktif. Penelitian ini bertujuan untuk menilai stabilitas tanggul lumpur Sidoarjo khususnya di bagian barat. Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini dengan melakukan analisis data geotektnik tanah dasar, material tanggul dan lumpur serta dianalisis dengan program Plaxis dengan pendekatan elemen hingga. Tanah dimodelkan dengan program elemen hingga agar bisa dilakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Sehinga diperoleh factor keamanaan untuk menilai stabilitas tanggul. Faktor keamanan umumnya didefinisikan sebagai perbandingan dari beban runtuh terhadap beban kerja. atau perbandingan antara kuat geser yang tersedia terhadap kuat geser yang dibutuhkan untuk mencapai keseimbangan. Analisis stabilitas ini dilakukan dengan anggapan kondisi subsoil masih normal, untuk kondisi subsoil eksisting dengan banyak retakan dan rongga belum bisa dilakukan perhitungannya karena pola rongga dan atau retakan belum ada datanya. Berdasarkan analisis dengan PLAXIS maka stabilitas tanggul dalam keadaan kritis dan siap untuk runtuh. Saran agar dipasang alat pukur penurunan "real time" dengan GPS yang bisa dipantau dari jauh sehingga kalau terjadi penurunan dalam waktu yang pendek maka bisa dilakukan penghentian keretaapi dan penutupan Jalan Raya Porong agar risiko bisa dikurangi.*

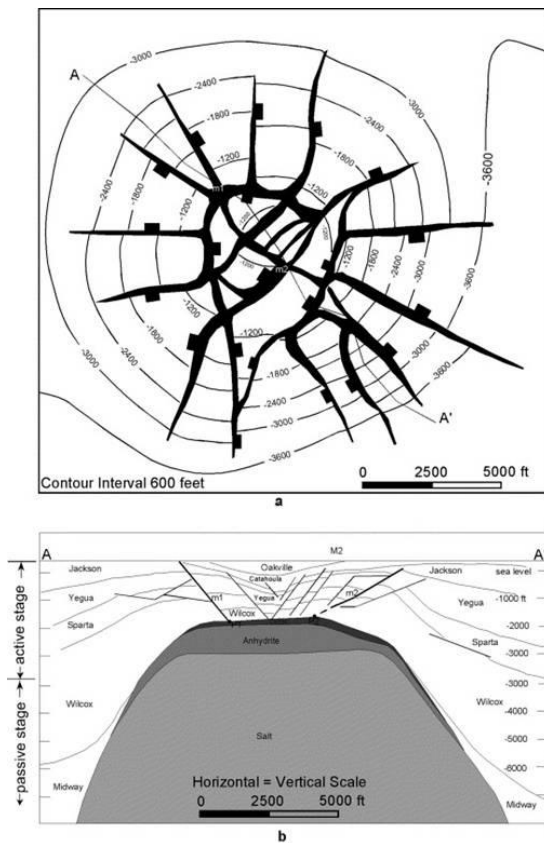
Kata kunci: *Semburan lumpur Sidoarjo, stabilitas tanggul*

PENDAHULUAN

Semburan Lumpur Sidoarjo masih terus berlangsung hampir delapan tahun lalu sampai sekarang dan mulai ada penurunan debit semburan. Kebijakan penanggulan dengan urugan dilakukan untuk membatasi meluasnya lumpur dan dengan harapan dapat mengatur aliran lumpur. Aktivitas penanggulan telah dilakukan sejak meluasnya sebaran lumpur. Tanggul urugan ini berada diatas tanah aluvial yang sangat lunak. Tanggul cincin setinggi 30 meter yang ada di bagian tengah kolam lumpur ambles pada awal 2009, sehingga tanggul yang ada sekarang ini menjadi tanggul satu satunya. Beberapa tempat tanggul nampak retak, merembes, ada yang mulai melimpah tanggul bahkan ada yang sudah jebol di bagian utara. Pada awal tahun 2013 desakan lumpur dari bagian tengah ke tepi menyebabkan permukaan lumpur hampir rata dengan tanggul. Pihak yang berwenang Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) berencana mau meninggikan tanggul agar lumpur tidak meluber. Ada pnolakan dari masyarakat korban saat akan dilakukan penambahan tanggul. Masyarakat minta dilunasi terlebih dahulu baru dilakukan aktivitas penambahan tinggi tanggul. Bahkan beberapa masyarakat melakukan tindakan yang membahayakan, mereka mau menjebok tanggul.Sampai saat ini Jalan Raya Porong masih dipakai dan lalulintasnya cukup padat walau sudah dibuat jalur arteri yang baru. Demikian juga jalur kereta api Surabaya – Banyuwangi masih beroperasi sampai sekarang. Dengan demikian tanggul lumpur sisi bagian barat menjadi perhatian banyak pihak apalagi saat memasuki musim hujan seperti saat ini sehingga diperlukan evaluasi stabilitas tanggul mengingat jebolnya tanggul akan berdampak terhadap masyarakat dan infrastrujtur di sekitarnya. Tujuan penlitian adalah untuk menilai stabilitas tanggul ini sehingga diketahui seberapa kuat tanggul yang telah berdiri lebih dari 7 tahun tersebut.

BAHAN DAN METODE

Indonesia terletak di kawasan tektonik aktif, demikian juga Pulau Jawa berada di kawasan batas yang aktif sehingga di kawasan ini banyak aktivitas gempa,

gunungapi, cekungan sedimen yang aktif dengan sedimentasi cepat dan tebal. Oleh karenanya di kawasan ini banyak cekungan minyak, gas dan lumpur atau lapisan lumpur tekanan tinggi. Lapisan lumpur mengandung gas akan menembus ke permukaan bumi akibat tekanan baik dari atas maupun dari samping. Desakan lumpur ke atas semakin besar akhirnya akan membentuk diapir dan kalau ada retakan akan muncul ke permukaan bumi sebagai gunung lumpur. Tegangan vertikal (akibat semburan bertekanan tinggi) akan menyebabkan struktur geologi yang khas yaitu retakan radial dan melingkar. Beberapa penelitian gunung lumpur di Amerika Serikat menunjukkan bahwa struktur geologi yang berkembang di daerah ini membentuk patahan melingkar dan patahan radial, contoh yang ada di daerah kubah Clay Crek Washington County.

Gambar .1. Kubah Clay Creek di Washington County. (a) Peta kontur struktur diatas Formasi Wilcox Formation. (b) Penampang struktur A–A′

Semburan lumpur Sidoarjo yang sudah berlangsung hampir delapan tahun ini memperlihatkan struktur geologi melingkar dan radial. Hal ini terjadi dikarenakan luasnya lubang semburan di bagian tengah menyebabkan terseretnya lapisan tanah yang ada di sekeliling pusat semburan. Terseretnya lapisan tanah dan batuan di sekitar semburan akan menyebabkan amblesan dan retakan, oleh karena semburan masih terus berlangsung maka amblesan dan retakan akan terus melebar dan retakan semakin dalam. Retakan akan menghubungkan sumber lapisan gas di dalam tanah dengan permukaan sehingga bersamaan dengan banyaknya retakan muncul pula semburan gas dan atau air dan atau lumpur.

Gambar 2. Retakan melingkar di sekeliling luar tanggul dan patahan radial

ANALISIS STABILITAS DENGAN PLAXIS

Plaxis adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Akurasi dari keadaan sebenarnya yang diperkirakan sangat bergantung pada keahlian dari pengguna terhadap pemodelan permasalahan, pemahaman terhadap model-model tanah serta keterbatasannya, penentuan parameter-parameter model, dan kemampuan untuk melakukan interpretasi dari hasil komputasi. Faktor keamanan umumnya didefinisikan sebagai perbandingan dari beban runtuh terhadap beban kerja. atau perbandingan antara kuat geser yang tersedia terhadap kuat geser yang dibutuhkan untuk mencapai keseimbangan. Plaxis dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan ini dengan menggunakan prosedur ’Reduksi phi-c’. Model yang sederhana ini didasarkan pada parameter-parameter tanah yang telah dikenal baik dalam praktek rekayasa teknik sipil. Model Mohr-Coulomb (MC) dapat digunakan untuk menghitung tegangan pendukung yang realistis pada muka terowongan, beban batas pada pondasi dan lain-lain. Model ini juga dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan pendekatan ’Reduksi phi-c’.

Metode Analisis stabilitas lereng yang digunakan pada studi ini adalah teknik reduksi kekuatan geser metode

elemen hingga (SSR-FEM). Kelebihan menggunakan metode ini adalah:

1. Asumsi dalam penentuan posisi bidang longsor tidak dibutuhkan, bidang ini akan terbentuk secara alamiah pada zona dimana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang terjadi.
2. Metode ini mampu memantau perkembangan *progressive failure* termasuk *overall shear failure*.

Berdasarkan persamaan tegangan geser tanah (τ) kekuatan geser tanah yang tersedia atau yang dapat dikerahkan oleh tanah adalah

$$\tau = c + (\sigma - u). \tan \varnothing$$

Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Sehingga faktor aman (SF) stabilitas lereng menjadi :

$$\Sigma M_{sf} = \tan \varnothing_{input} / \tan \varnothing_{reduksi}$$

$$= c_{input} / c_{reduksi}$$

$$SF = \frac{kekuatan\ geser\ yang\ tersedia}{kekuatan\ geser\ saat\ longsor}$$

$$= \text{Nilai } \Sigma M_{sf} \text{ pada saat kelongsoran.}$$

dengan,

c_{input} = kohesi tanah

$\varnothing_{input}$ = sudut geser dalam tanah

$c_{reduksi}$ = kohesi tanah tereduksi

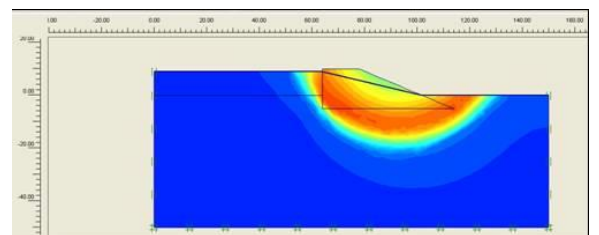
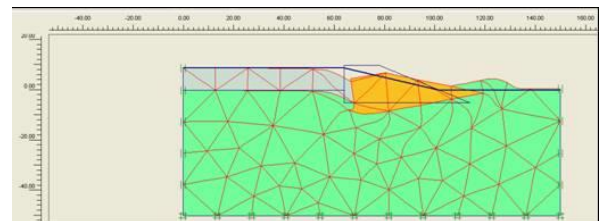
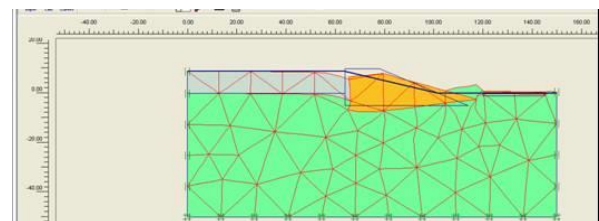
$\varnothing_{reduksi}$ = sudut geser dalam tereduksi

PEMBAHASAN

Analisis stabilitas lereng dengan metode SSR-FEM dalam penelitian ini menggunakan software Plaxis 8.0. Langkah permodelan dimulai dari penggambaran model plane strain 2D, pemasukan input parameter tanah di sekitar tanggul lumpur dengan model tanah Mohr-Coulomb (Tabel 1). Langkah kemudian dilanjutkan dengan menyusun elemen mesh segitiga, perhitungan tegangan pori dengan muka air tanah dan tegangan overburden. Tahap selanjutnya adalah perhitungan analisis stabilitas lereng dengan metode phi/c reduction.

Tabel 1 Data tanah disekitar lokasi adalah sebagai berikut:

Depth (m)	Thickness m	Jenis Tanah	γ_{sat} t/m^3	γ_{unsat} t/m^3	γ' t/m^3	ϕ^o	c_u t/m^2	c' t/m^2	ν	E t/m^2
0 s/d -12	12	Tanggul	1.9	1.8	0.9	35	10	6.7	0.2	4000
-12 s/d -312	300	Soft Clay	1.4	1.2	0.4	5	5	3.3	0.2	100
-312 s/d -1000	688	Batu Lempung	1.9	1.7	0.9	40	10	6.7	0.2	4000

Analisis stabilitas ini dilakukan dengan anggapan kondisi subsoil masih normal, untuk kondisi subsoil eksisting dengan banyak retakan dan rongga belum bisa dilakukan perhitungannya karena pola rongga dan atau retakan belum ada datanya. Hasil running dengan menggunakan PLAXIS diperoleh pada gambar 3 sampai 5. Kemungkinan bidang longsor ada di bagian lumpur dan jangkaunnya sampai 60 meter dari dasar tanggul atau jangkaun longsor bisa menyeberang jalan raya Porong. Ada contoh rumah yang terletak di bagian tepi barat tanggul dan terlihat miring dari tahun ke tahun.

Gambar 3. Kemungkinan bidang longsor tanggul lumpur porong dan distribusi tegangan. Daerah pengaruh adalah 60 m dari tumit tanggul).

Gambar 4. Jaring elemen terdeformasi dan pola kelongsoran dekat tanggul dan jauh dari badan jalan

Gambar 5. Jaring elemen terdeformasi dan pola kelongsoran dekat tanggul dan dekat dengan badan jalan

Hasil *running* memperlihatkan tanggul mulai terguling dan terjadi pengangkatan tanah (*heave*) di dekat tanggul sehingga akan mengakibatkan rumah akan miring (Gambar 6) dan mempengaruhi erpengaruh yaitu rel Nampak bengkok dan jalan retak (Gambar 7).

Gambar 6 Rumah yang mulai miring akibat terjadi efek guling tanggul.

Gambar 7. Retakan di Jalan Raya Porong dan rel yang bengkong

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dengan PLAXIS maka stabilitas tanggul dalam keadaan kritis dan siap untuk longsor. Saran agar dipasang alat pukur penurunan "real time" dengan GPS yang bisa dipantau dari jauh sehingga kalau terjadi penurunan dalam waktu yang pendek maka bisa dilakukan penutupan Jalan Raya Porong agar risiko bisa dikurangi. Kalau memungkinkan dipasang juga alat detektor gas metan sehingga diketahui kapan terjadi akumulasi gas/peningkatan konsentrasi gas.

REFERENSI

Alastair H.F. Robertson and Achim Kopf, 1998, *Tectonic Setting And Processes Of Mud Volcanism On The Mediterranean Ridge Accretionary Complex*: *Evidence From Leg 1601*

Jin G. and Richard H. Groshong R.H.Jr., 2006, Trishear kinematic modeling of extensional fault-propagation folding, *Journal of Structural Geology* , *v.*28, p170–183, Elsevier Ltd. All rights reserved

Kusumastuti A, P. Van Rensbergen, and J. K. Warren**, 2002,** Seismic sequence analysis and reservoir potential of drowned Miocene carbonate platforms inhe Madura Strait, East Java,Indonesia, *AAPG Bulletin,* v. 86, no. 2 (February 2002), pp. 213–232

Laporan Tim Gubernur, 2010, *Kajian Kelayakan Permukiman Akibat Semburan Lumpur Sidoarjo*, tidak dipublikasikan, Surabaya

Yin–Hongwei and Groshong, Jr Richard H. 2006, Balancing and restoration of piercement structures: geologic insights from 3D kinematic models, *Journal of Structural Geology* Volume 28, Issue 1, January 2006, Pages 99-114

20 Pola Retakan Kaca vs Pola Retakan Sekitar Lumpur Sidoarjo

Amien Widodo
Jurusan Teknik Sipil FTSP - ITS Surabaya
Email: amien@ce.its.ac.id

Abstract – *The purpose of this study was to find out why the pattern of cracks that develop in the vicinity of the Lumpur Sidoarjo dike more developed in the west-northwest?. Materials and methods used in this study more the result of literature studies, direct measurements in the field and personal experience. Observation and measurement of crack pattern that develops around the mud embankment that has been running almost five years shows that the cracks pattern of more developing in the west-northwest of mud embankments so far nearly 2 kilometers from the western boundary levee (Porong Highway), in the section close to the dike pattern of cracks more meetings and a larger shift, while the exterior is more than tenuous, rare and generally in the form of cracks. Almost every crack is always followed by bursts of flammable gases. Some experts argue that the pattern of cracks is controlled by the Watu Kosek Fault. Unique experience during the trip with train Surabaya-Yogyakarta. The train accidentallyhave been throwed by stone at the edge of glass window. The cracks forming incredible patterns, in the limit of glass over the pattern of cracks within a short meeting, on the contrary on the other side of the radial and circular cracks and far more tenuous. Some patterns of cracks as a result of the exploitation activities of the body salt diapir in the East Texas basin and Clay Creek in Washington County showed a symmetrical pattern. Facts on the ground shows that the cracks that occur are generally followed with a blast of gas. The crack pattern is spread so far <2 miles and mostly located in the western part. Based on the results of measurements and patterns of glass cracks, it can be concluded that the pattern of cracks that occur in the west-northwest Lumpur Sidoarjo occurs at the edge of the boundary of the basin or for other reasons. However, further research is needed both for glass crack pattern and or cracks pattern around the mud embankment.*

Keywords : *cracks pattern around Lumpur Sidoarjo, crack pattern of glass*

1. PENDAHULUAN

Ada perubahan material yang keluar pasca amblesan tanggal 22 Nopember 2006 yaitu dengan keluarnya material kerikil (batu lempung berukuran kerikil). Munculnya kerikil menunjukkan bahwa semburan lumpur Sidoarjo sudah memasuki fase pembentukan kerucut gunung karena kerikil akan mengendap disekitar pusat semburan, sedangkan air yang keluar bersamanya akan mengalir menjauh dari pusat semburan. Sedangkan fase amblesan sudah mulai, di bagian tengah sekitar pusat semburan lebih cepat dibandingkan di luar pusat semburan. Koft, 2002 menyebutkan bahwa pembentukan gunung lumpur melalui 3 fase yaitu fase pertama erupsi air+lumpur, fase kedua fase turbulensi semburan dimana material yang keluar air+lumpur+kerikil dan fase ketiga fase amblesan.

Permasalahan muncul karena semburan lumpur Sidoarjo masih berlangsung sampai sekarang yang diikuti munculnya retakan dan semburan gas juga semakin meluas serta menimbulkan ancaman baru di luar tanggul seperti efek domino yang berdampak serius pada lingkungan di sekitarnya termasuk berdampak pada masyarakat yang bermukim di sekitar tanggul. Ancaman-ancaman baru yang muncul yaitu ancaman amblesan yang diikuti retakan tanah dan rumah, ancaman semburan gas yang mudah terbakar dan mencemari udara, ancaman tanggul jebol dan ancaman pencemaran Pada awal tahun area yang terdampak hanya beberapa meter di luar tanggul dan saat ini sudah mempengaruhi sampai sejauh 2 km dari

batas tanggul. Hal ini terjadi sebagai bagian dari dinamika gunung Lumpur (mud volcano), selama semburan masih terjadi maka akan diikuti amblesan, retakan dan semburan gas. Pada awal lahirnya semburan lumpur telah menenggelamkan puluhan desa, mengusir paksa 14000 KK, menyebabkan kehilangan kehidupan, dan penghidupan normalnya, ribuan buruh menganggur dikarenakan puluhan pabrik terbenam, ribuan murid sekolah terlantar dan tercerai berai, dan 15 orang meninggal terkait dengan semburan ini serta beberapa orang terbakar akibat semburan gas yang terbakar.

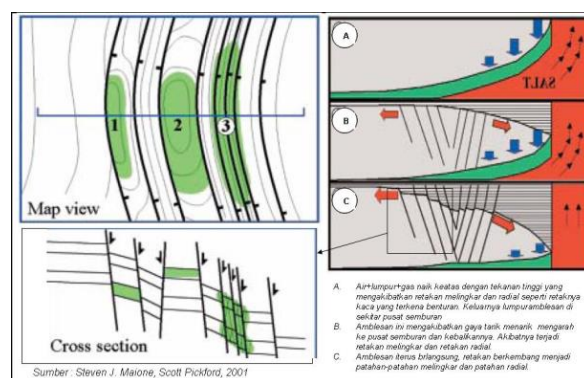
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses terbentuknya retakan dan semburan gas yang berkembang di luar tanggul Sidoarjo yang berkembang di bagian barat-barat laut.

2. METODE PENELITIAN

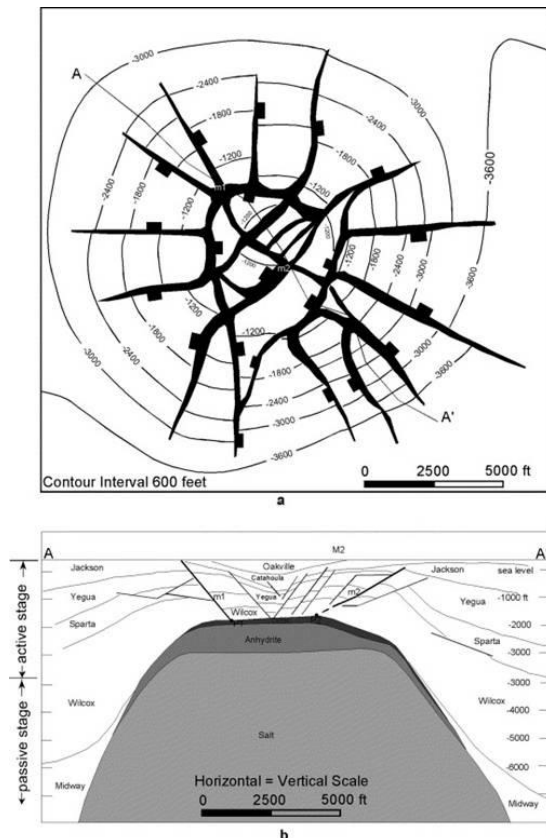
Pulau Jawa secara geologis termasuk berada di kawasan tektonik aktif, hal ini terjadi sebagai konsekuensi adanay tumbukan lempeng tektonik yang menekan sepanjang P.Jawa termasuk Jawa Timur. Akibat kompresi arah utara selatan dari lempeng Samudra Hindia-Australia dan lempeng Eurasia membentuk Cekungan Jawa Timur Utara dengan pola struktur geologi yang khas yaitu (1) struktur patahan dengan arah NNE-SSW, (2) struktur patahan barat – timur (3) struktur lipatan dengan sumbu barat – timur dan (4) struktur diapir dan gunung lumpur di bagian puncak antiklin dan zona patahan. Secara fisiografik tektonik maka wilayah Cekungan Jawa Timur Utara dibagi menjadi 4 yaitu Jalur Kendeng, Depresi Randublatung, Jalur Rembang dan Paparan Laut Jawa. Cekungan .merupakan cekungan yang aktif sehingga sedimen yang terbentuk sangat tebal dan berlangsung sangat cepat dan sangat dimungkinkan adanya sedimen yang belum membatu terjebak diantara lapisan. Aktivitas tektonik ini terjadi berulang-ulang, sehingga menyebabkan struktur geologi daerah ini menjadi kompleks.

Di daerah cekungan minyak gas bumi, lapisan lumpur atau serpih bercampur menjadi satu dengan air fosil, minyak dan gas bumi. Tekanan lapisan diatasnya dan tekanan tektonik menyebabkan lapisan lumpur mengalami tekanan berlebih (over pressure) yang diikuti desakan keatas. Desakan lumpur ke atas semakin besar akhirnya akan membentuk diapir dan kalau ada retakan akan muncul ke permukaan bumi sebagai gunung lumpur. Tegangan vertikal (akibat semburan bertekanan tinggi) dari dalam bumi akan menyebabkan batuan dibagian bawah retak menyudut lancip terhadap arah tekanan dan secara tiga dimensi membentuk corong serta retak searah dengan arah tekanan (radial). Di permukaan dicerminkan dengan retakan radial dan melingkar. Semburan baru muncul akibat retakan-retakan yang berkembang di sekeliling semburan.

Beberapa penelitian gunung lumpur di Amerika Serikat menunjukkan bahwa struktur geologi yang berkembang di daerah ini membentuk patahan melingkar dan patahan radial, contoh yang paling baik ada di daerah Cekungan Teksas Timur tempat penambangan garam pada tubuh diapir dan di kubah Clay Crek Washington County (Gambar 1 dan Gambar 2). Model kinematik trishear pertama kali diusulkan oleh Erslev, 1991 (dalam Jin et.al, 2006) dirancang untuk memprediksi geometri dari patahan lipatan, yang tumbuh dengan perubahan baik di ketebalan lapisan dan ketebalan kemiringan lipatan. Trishear adalah tegangan geser didistribusikan dalam zona segitiga, salah satu puncak yang terletak di ujung patahan dan merupakan awal model dengan menghadirkan rumusan masalah yang jelas untuk menganalisis pengaruh propagasi/ perkembanagan variabel.

Patahan yang terjadi secara individual bisa berkembang menjadi patahan trishear seperti tergambar dari hasil percobaan (Gambar 3). Pada gambar sebelah kiri merupakan hasil percobaan di laboratorium dengan menggeserkan tanah secara bertahap sehingga berkembang retakan-retakan di sekitar pergeseran.

Gambar 1. Penambangan kubah garam yang berkembang menjadi patahan melingkar di Teksas Timur (Maione and Pickford, 2001)

Penemuan pola retakan kaca merupakan hasil pengalaman pribadi sewaktu naik keretaapi Surabaya Yogya dan dilempari batu oleh suporter bola. Pola retakan kaca yang dilempar batu berhasil didokumentasikan dan membentuk pola yang khas.

Lemparan kebetulan mengenai bagian tepi batas kaca jendela kereta api sehingga pola retakan mempunyai pola yang khas. Batu yang dilempar mengenai tepi atas kaca jendela sehingga terlihat bahwa pola retakan di tepi (batas kaca) lebih rapat dalam jarak yang pendek, sebaliknya di sisi lain retakan radial dan melingkar lebih renggang dan sampai jauh dan muncul retakan-retakan yang lepas tidak berhubungan dengan pusat retakan (Gambar 4).

Gambar .2. Kubah Clay Creek di Washington County. (a) Peta kontur struktur diatas Formasi Wilcox Formation. (b) Penampang struktur A–A′

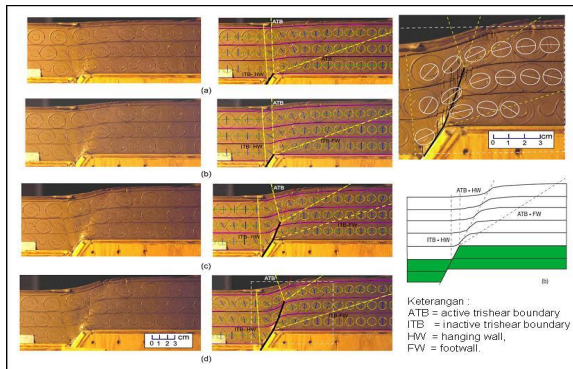
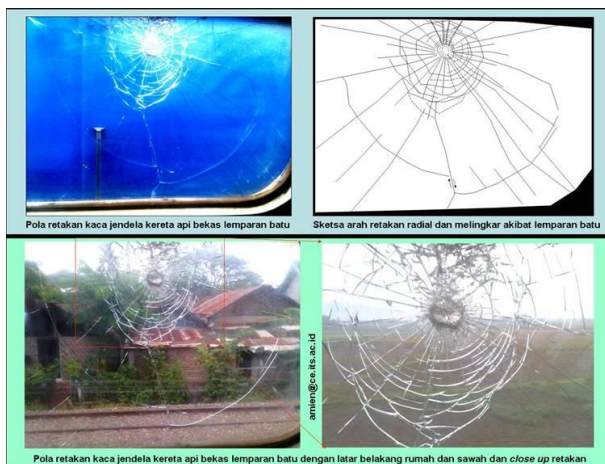
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi lokasi semburan baru di luar Peta Area Terdampak Lumpur Sidoarjo telah dilakukan oleh BPLS dan pemerintah provinsi Jawa Timur, hasilnya menunjukkan bahwa sebagian semburan baru padam, semburan padam kemudian hidup lagi dan semburan berlangsung terus menerus.. Hasil identifikasi semburan gas menunjukkan bahwa sebanyak lebih 100 titik sudah tidak aktif dan 80 aktif terdapat di desa Jatirejo, Siring Barat dan Timur, Pamotan, Ketapang, dan Besuki. Desa-desa yang dikaji lainnya tidak dijumpai semburan.

Hampir semua semburan (90%) keluar dari retakan tanah sehingga sulit ditangani. Hanya sebagian kecil saja +/- 10% yang keluar dari sumur gali dan sumur bor air tanah (kedalaman antara 50 - 100 m), itu pun konsentrasi gas HC yang released terlalu kecil dan tidak signifikan untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar tungku warga. Semburan gas yang muncul di dalam rumah penduduk bisa sangat berbahaya karena bisa terkumulasi dan akan mudah terbakar, seperti yang terjadi pada tanggal 8 September 2010 yang membakar 2 korban (Gambar 5). Retakan-retakan yang berkembang di luar tanggul lumpur bagian barat menunjukkan adanya arah jurus yang sama antara U340oT – U5oT dan sebagian berkembang menjadi patahan turun dengan sudut kemiringan > 80oT dan patahan graben turun sekitar 20 cm (Tabel 1 dan Gambar 5).

Tabel 1. Koordinat dan arah retakan

No	KOORDINAT		Arah (N....E)	Panjang	Lebar	Kedalaman
	x	y				
1	687899	9167744	340°	± 100 m	3 cm	± 5 - 10 cm
2	687885	9167518	5°	–	–	–
3	687924	9168130	5 °	–	–	–
4	688036	9167930	–	–	–	–
5	688942	9167598	–	–	–	–
6	688839	9167695	–	–	–	–
7	688720	9167568	–	–	–	–
8	687850	9167828	345°	–	260 cm	–
9	687796	9167846	20°	–	–	–
10	688169	9168722	15°	–	–	–
11	687934	9167812	295°	–	–	–
12	688048	9168727	45°			
13	688308	9168939	10°			
14	688333	9169018	115°			
15	688032	9168265	35°			
16	689009	9167579	220°			
17	688203	9168728	52°	1,5 m	1,5 cm	0,3 cm
18	688145	9168727	34°	1,8 m	0,5 cm	0,2 cm
19	688160	9168733	25 °	1,5 m	0,5 cm	0,3 cm
20	688154	9168694	50 °	3 m	1,5 cm	0,3 cm
21	688182	9168726	25 °	10 m	0,7 cm	0,2 cm
22	687827	9168494	30°	–	–	–
23	687809	9167888	45°	7 m	2 cm	0,5 cm
24	687819	9167865	23°	2 m	0.3 cm	0,2 cm
25	687793	9167848	5°	15 m	0,5 cm	0,3 cm
26	687841	9167837	10°	10 m	1 cm	0,3 cm
27	687874	9167743	10°	12 m	0,5 cm	1 cm
28	687859	9167744	0°	15 m	0,5 cm	2 cm
29	687902	9167740	5°	20 m	0,2 cm	3,5 cm
30	688657	9165725	10°	2 m	0,5 cm	0,3 cm
31	688815	9165731	282°	3 m	0,7 cm	0,2 cm
32	688829	9165720	17°	3 m	0,3 cm	0,2 cm
33	688829	9165720	300°	13 m	2 cm	0,5 cm
34	688829	9165720	310°	13 m	1,5 cm	0,3 cm
35	689221	9165720	310°	21 m	0,5 cm	0,2 cm
36	688297	9168957	10°	4 m	0,3 cm	0,2 cm

Sumber : BPLS dan data primer

Gambar 3 Patahan tumbuh dan asosiasi retakan yang terjadi (Jin e.al., 2006)

Gambar 4 Pola retakan radial dan melingkar di kaca jendela kereta api Sancaka Surabaya-Yogya, sebagai akibat lemparan batu supporter bola

Gambar 5. Pola retakan di luar tanggul lumpur Sidoarjo

Beberapa tempat graben ini runtuh yang membentuk lubang besar berdiamter 5 – 6 meter. Patahan-patahan yang berkembang di kawasan ini terjadi karena adanya patahan trishear.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil analisis maka dapat dismpulkan bahwa :

1. Patahan yang berkembang di Ketapang – Siring barat – Jatirejo Barat dengan jurus yang U340ºT – U5ºT telah berkembang menjadi patahan turun dengan sudut kemiringan > 80ºT dan patahan graben turun sekitar 20 cm. Beberapa tempat graben ini runtuh yang membentuk lubang besar berdiamter 5 – 6 meter.
2. Patahan ini diikuti munculnya retakan-retakan di bagian barat sampai sejauh > 500 meter dari lokasi patahan dan menjadi media keluarnya semburan gas dan atau air dan atau lumpur.
3. Pola retakan kaca jendela kereta api sama dengan pola retakan yang berkembang di bagian barat tanggul lumpur Sidoarjo. Hal ini terjadi karena semburan keluar di bagian batas Cekungan Jawa Timur Utara.

4.2. Saran

Penelitian lanjutan sangat dibutuhkan untuk melakukan eksperimen lebih detail terkait dengan pola retakan kaca sehingga bisa diperoleh rumusan matematika pola retakan kaca yang dipukul dibagian tengah dan pinggir. Demikian pula dengan eksperimen retakan lumpur di laboratorium.

REFERENSI

Alastair H.F. Robertson2 and Achim Kopf, 1998, Tectonic Setting And Processes Of Mud Volcanism On The Mediterranean Ridge Accretionary Complex: *Evidence From Leg 1601*

Jin G. and Richard H. Groshong R.H.Jr., 2006, Trishear kinematic modeling of extensional fault-propagation folding, *Journal of Structural Geology* , *v.*28, p170–183, Elsevier Ltd. All rights reserved

Kusumastuti A, P. Van Rensbergen, and J. K. Warren, **2002,** Seismic sequence analysis and reservoir potential of drowned Miocene carbonate platforms inhe Madura Strait, East Java,Indonesia, *AAPG Bulletin*, v. 86, no. 2 (February 2002), pp. 213–232

Laporan Tim Gubernur, 2010, KAJIAN KELAYAKAN PERMUKIMAN AKIBAT SEMBURAN LUMPUR SIDOARJO, tidak dipublikasikan, Surabaya

UNEP, 2006, Awarness and Preparedness for Emergency at Local Level, *Workshop Nasional*, tgl 28 - 29 Maret 2006, ITS, Surabaya

Yin–Hongwei and Groshong, Jr Richard H. 2006, Balancing and restoration of piercement structures: geologic insights from 3D kinematic models, *Journal of Structural Geology Volume 28, Issue 1*, January 2006, Pages 99-114

21 ANALISIS KONDISI PERMUKIMAN AKIBAT SEMBURAN LUMPUR

I Putu Artama Wiguna
Jurusan Teknik Sipil – FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: artama@ce.its.ac.id

Abstrak – *Semburan lumpur yang berlangsung hampir 5 tahun ini membawa dampak yang sangat besar bagi permukiman di sekitar tanggul Lumpur Sidoarjo. Dampak yang diakibatkan berupa penurunan tanah, amblesan, bubble, kerusakan aset, pencemaran lingkungan, kondisi sosial dan ekonomi serta psikososial. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kondisi permukiman disekitar tanggul lumpur. Metode yang digunakan dengan cara melakukan analisis pembobotan pada setiap parameter dampak dengan kondisi RT pada masing-masing desa. Hasilnya menunjukkan bahwa, dari 15 desa, terdapat 2 desa dalam kondisi sangat parah yaitu desa Siring (barat) dan Jatirejo (barat). Terdapat 5 desa dalam kondisi permukiman parah, sedangkan desa lainnya masih dalam kondisi cukup parah.*

I. PENDAHULUAN

Walaupun debit semburan Lumpur Sidoarjo sudah mulai berkurang akhir-akhir ini, namun sampai saat ini belum ada tanda-tanda untuk dapat berhenti dalam waktu yang dekat. Dampak dari semburan lumpur tersebut sampai saat ini terus bertambah, jumlah semburan bertambah walau juga sudah beberapa semburan kecil-kecil yang berhenti. Semburan yang terjadi baik besar maupun yang kecil yang jumlahnya sampai saat ini tidak kurang dari 180 buah, dan tidak kurang dari 80 semburan masih aktif dan semburan tersebut mengandung diantaranya lumpur, air dan juga gas yang dapat membahayakan lingkungan permukiman. Disamping itu, akibat semburan utama yang masih terus terjadi disertai beban tanggul dan timbulnya semburan lain disekitarnya mengakibatkan terjadinya penurunan dan penggeseran tanah yang dapat merusak bangunan dan fasilitas fisik lainnya. Penurunan dan pergeseran tanah yang terjadi pada tanggul akan dapat mengakibatkan retaknya tanggul utama yang kemudian mengancam desa disekitar tanggul.

Dari hasil kajian yang telah dilakukan pada tahun 2008 oleh TKKP, dinyatakan bahwa desa Siring (Barat), desa Jatirejo (Barat), dan 3 RT di desa Mindi (RT10, RT13, RT15) berada dalam kondisi yang sangat parah dan berbahaya sehingga tidak layak untuk dihuni serta harus segera dilakukan evakuasi. Sedangkan desa-desa yang lain dalam kondisi yang cukup berbahaya yang harus terus menerus dipantau untuk menghindari dampak yang tidak diinginkan.

Pada pertengahan Juli tahun 2009 terjadi kebakaran pada sebuah rumah di desa Siring Barat yang apinya sulit dipadamkan karena adanya pencemaran gas mudah terbakar. Di lokasi itu juga yaitu di desa Siring Barat terjadi semburan yang menenggelamkan satu rumah penduduk, semburan tersebut masih terus keluar yang bisa berdampak lebih parah terhadap penduduk disekitarnya. Dengan terjadinya peristiwa kebakaran dan semburan yang cukup membahayakan tersebut, maka sangat diperlukan kajian lebih lanjut untuk menyelamatkan penduduk disekitar wilayah tersebut.

Untuk mengevaluasi meluasnya dampak yang diakibatkan oleh semburan lumpur serta penurunan tanah terhadap kondisi permukiman, maka perlu untuk dilakukan kajian kondisi permukiman disekitar tanggul lumpur.

II. PERMASALAHAN

Berdasarkan kondisi diatas, permasalahan yang muncul adalah bagaimana tingkat kondisi permukiman disekitar tanggul lumpur.

III. TUJUAN

Makalah ini bertujuan untuk menentukan kondisi permukiman di beberapa desa disekitar tanggul lumpur.

IV. KONDISI LINGKUNGAN DI SEKITAR TANGGUL LUMPUR

Pada awal bulan Juli 2009, terjadi semburan baru di Desa Siring Barat,.sehingga terjadi amblesan tanah

yang menyebabkan tenggelamnya sebagaian dari rumah Pak Okky. Sampai saat ini semburan itu terus berlangsung dan emisi gas yang ditimbulkan sangat melebihi ambang batas. Pada bulan Juni 2010 juga terjadi semburan baru di belakang rumah Pak Mirdasy. Kejadian tersebut menimbulkan amblesan pada rumah Pak Mirdasy. Semburan baru yang menenggelamkan rumah Pak Okky dan Pak Mirdasy tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Gambar 1. Lokasi Rumah Warga yang Tenggelam dan Ambles Akibat Munculnya Semburan Baru.

Kondisi Penurunan Tanah di Siring Barat

Pada kajian tahun 2008, terjadi penurunan tanah di Desa Siring Barat berkisar 60 sampai dengan 100 cm. Pada saat ini terlihat penurunan tanah di desa tersebut semakin parah. Hal ini terlihat dari pengamatan lapangan di beberapa tempat, terlihat dari adanya keretakan bangunan dan penurunan tanah di jalan. Penurunan tanah di desa ini kemungkinan besar akan terus berlangsung, dan perlu pengamatan yang lebih intensif untuk menghindari terjadinya keruntuhan pada bangunan yang dapat mengakibatkan terjadinya korban. Gambar di bawah ini menunjukan terjadinya keretakan rumah dan jalan akibat penurunan tanah.

Gambar 2. Penurunan Tanah dan Kerusakan Rumah Penduduk.

Kondisi tanggul akibat penurunan tanah.

Sebagai usaha untuk mengurangi dampak meluasnya genangan lumpur ke rumah penduduk, penanggulan lumpur terus dilakukan. Karena semburan lumpur yang masih terus berlangsung, dan volume keluarnya lumpur masih konstan sekitar 100 ribu m^3 perhari, dan usaha untuk mengalirkannya ke laut melalui kali Porong terhambat, maka pengguatan dan peninggian tanggul terus dilakukan. Jika peninggian dan penguatan tanggul tidak diperhitungkan dengan baik, hal ini akan berakibat pada terjadinya keruntuhan tanggul yang mungkin disebabkan terjadinya penurunan tanah dan overtopping serta ketidakpadatan tanggul itu sendiri. Dampak yang diakibatkan jika kondisi tanggul itu jebol adalah melubernya lumpur ke perumahan penduduk atau ke jalan utama Porong – Gempol. Akibat terjadinya penurunan dan pergeseran tanah maka tanggul secara terus menerus mengalami gangguan keretakan yang akan mungkin dapat mengakibatkan jebol dan membahayakan wilayah sekitar. Dengan terus bertambahnya ketinggian tanggul maka beban tanggul akan menjadi semakin besar dan akan semakin rawan terhadap kerusakan atau jebol.

Kondisi disekitar Luapan Lumpur

Seperti yang telah diuraikan diatas, gambar rangkaian kondisi disekitar semburan lumpur dibuatkan untuk memudahkan melihat kondisi saat ini disekitar luapan lumpur, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini. Pada titik 1-3, disekitar desa Renokenogo, ada beberapa tanggul yang terlihat terjadi keretakan. Pada titik 4 dan 5, memperlihatkan terjadinya rembesan air didasar tanggul dan kondisi disekitar tanggul. Pengaliran lumpur ke Kali Porong yang dialirkan melalui pipa diletakkan pada jembatan tol lama. Debit yang bisa dialirkan sangat kecil, dan pada badan sungai terlihat terjadinya genangan lumpur, seperti yang terlihat pada titik 6. Munculnya semburan baru dan amblesan tanah di desa Siring Barat ditunjukkan pada titik 7 – 9.

Gambar 3. Kondisi Disekitar Tanggul Lumpur.

V. METODE KAJIAN

Kajian ini merupakan analisis dan kompilasi dari hasil pengukuran kuantitatif dari hasil pengukuran penurunan tanah, jumlah bubble dan retakan, kerusakan bangunan serta kualitas udara dan air. Disamping itu, hasil pengukuran kondisi kesehatan masyarakat dan psikososial dipakai sebagai indikator pengukuran tingkat kondisi permukiman. Sehingga parameter yang digunakan adalah: penurunan tanah, kondisi bubble dan retakan, kerusakan aset, kualitas udara, air tanah, air permukaan, kesehatan masyarakat dan

psikososial. Semua parameter tersebut dipakai untuk menentukan tingkat kondisi permukiman di sekitar tanggul lumpur. Masing-masing parameter menggunakan skor dari tidak parah (skor 1) sampai sangat parah (skor 4).

Untuk menentukan tingkat kondisi permukiman, pembobotan pada masing-masing parameter perlu dibuatkan, karena parameter-parameter tersebut mempunyai pengaruh yang berbeda-beda. Parameter yang mempunyai pengaruh yang paling besar dalam menentukan kondisi permukiman diberikan bobot yang lebih besar, demikian pula sebaliknya pembobotan paling kecil diberikan pada parameter yang mempunyai pengaruh paling kecil. Nilai tingkat kondisi permukiman dilakukan dengan menjumlahkan semua perkalian antara bobot dan skor pada masing-masing parameter. Nilai dari tingkat kondisi permukiman dikelompokkan menjadi empat (4) yaitu mulai dari tidak parah sampai dengan sangat parah.

Sebagai dasar penentuan satuan terkecil kondisi permukiman adalah Rukun Tetangga (RT) karena:dalam urusan tata laksana sosial dan lingkungan yang terkecil yang diakui oleh pemerintah kota dan kabupaten adalah RT, yang tersirat dengan adanya kepengurusan RT. Disamping itu, hubungan persaudaraan dan kekerabatan dalam kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat yang paling kecil akan terlihat dan terbentuk dalam RT. RT juga merupakan kumpulan beberapa keluarga dalam suatu lingkungan untuk membentuk suatu komunitas ikatan keluarga yang paling kecil.

VI. HASIL DAN ANALISIS

Untuk menentukan kelayakan hunian permukiman disekitar tanggul lumpur sidoarjo, parameter yang dipergunakan adalah sebagai berikut:

a. Semburan dan retakan
b. Penurunan tanah
c. Kondisi lingkungan, seperti pencemaran air permukaan, air tanah dan udara
d. Kondisi kerusakan aset
e. Kondisi sosial, ekonomi dan psikososial serta kesehatan masyarakat

Seluruh parameter tersebut sudah dianalisis tingkat keparahan masing-masing, yang diberikan skor dari tidak parah sampai sangat parah (1 – 4). Pada dasarnya keseluruhan penilaian skor tersebut menyatakan bahwa:

- Skor 1 (tidak parah)
- Skor 2 (sedang)
- Skor 3 (parah)
- Skor 4 (sangat parah)

Untuk menentukan kondisi permukiman, perlu dibuatkan pembobotan pada masing-masing parameter, karena parameter-parameter tersebut mempunyai pengaruh yang berbeda-beda. Parameter yang mempunyai pengaruh yang paling besar dalam menentukan kelayakan hunian diberikan bobot yang lebih besar. Urutan pengaruh tersebut adalah sebagai berikut:

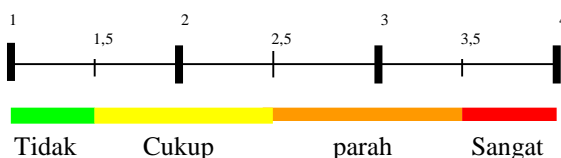
a. Kerusakan aset: diberikan nilai bobot terbesar yaitu 20%, karena kerusakan aset disebabkan oleh penurunan tanah akan menyebabkan kurang berfungsinya bangunan sebagai tempat tinggal dan permukiman. Disamping itu, kerusakan aset merupakan kondisi fisik lingkungan yang paling mudah dilihat secara kasat mata.
b. Pencemaran udara: diberikan bobot 15%, udara yang sudah tercemar dan melewati ambang batas kelayakan akan sulit dilakukan mitigasi. Pencemaran udara akan membawa dampak penurunan tingkat kesehatan masyarakat dan lingkungan permukiman.
c. Psikososial: diberikan bobot sebesar 15%, akibat dari tidak ada penyelesaian yang jelas pada kasus semburan lumpur ini, menyebabkan dampak psikososial pada kehidupan masyarakat yang dapat mengganggu kehidupan sosial dan psikologis masyarakat.
d. Kesehatan masyarakat: diberikan bobot 15%, sebagai akibat pencemaran lingkungan akan mengakibatkan menurunnya tingkat kesehatan masyarakat.
e. Penurunan tanah (subsidence): diberikan bobot sebesar 10%, hal ini dikarenakan penurunan tanah membawa dampak ikutan, seperti kerusakan aset dan bubble.
f. Bubble dan retakan: diberikan bobot 10%, dengan adanya bubble dan retakan pada suatu wilayah mencerminkan adanya amblesan disekitar daerah tersebut.
g. Air sumur: diberikan bobot 10%, air sumur yang tidak layak untuk dikonsumsi merupakan salah satu indikator didaerah tersebut dampak semburan lumpur sudah mulai terjadi
h. Air sungai: diberikan bobot yang paling kecil yaitu sebesar 5%, karena secara langsung tidak terlalu berpengaruh kepada kehidupan masyarakat tetapi lebih berpengaruh pada lingkungan dan pertanian, peternakan serta perikanan.

Untuk mendapatkan nilai tingkat kondisi permukiman pada setiap RT, penilaian dilakukan dengan menjumlahkan semua perkalian antara bobot dan skor pada masing-masing parameter atau indikator. Dari hasil tersebut dibuatkan kategori tingkat kondisi aset dengan pertimbangan sebagai berikut:

a. Kerusakan aset: diberikan nilai bobot terbesar yaitu 20%, karena kerusakan aset disebabkan oleh penurunan tanah akan menyebabkan kurang berfungsinya bangunan sebagai tempat tinggal dan permukiman. Disamping itu, kerusakan aset merupakan kondisi fisik lingkungan yang paling mudah dilihat secara kasat mata.

b. Pencemaran udara: diberikan bobot 15%, udara yang sudah tercemar dan melewati ambang batas kelayakan akan sulit dilakukan mitigasi. Pencemaran udara akan membawa dampak penurunan tingkat kesehatan masyarakat dan lingkungan permukiman.
c. Psikososial: diberikan bobot sebesar 15%, akibat dari tidak ada penyelesaian yang jelas pada kasus semburan lumpur ini, menyebabkan dampak psikososial pada kehidupan masyarakat yang dapat mengganggu kehidupan sosial dan psikologis masyarakat.
d. Kesehatan masyarakat: diberikan bobot 15%, sebagai akibat pencemaran lingkungan akan mengakibatkan menurunnya tingkat kesehatan masyarakat.
e. Penurunan tanah (subsidence): diberikan bobot sebesar 10%, hal ini dikarenakan penurunan tanah membawa dampak ikutan, seperti kerusakan aset dan bubble.
f. Bubble dan retakan: diberikan bobot 10%, dengan adanya bubble dan retakan pada suatu wilayah mencerminkan adanya amblesan disekitar daerah tersebut.
g. Air sumur: diberikan bobot 10%, air sumur yang tidak layak untuk dikonsumsi merupakan salah satu indikator didaerah tersebut dampak semburan lumpur sudah mulai terjadi.
h. Air sungai: diberikan bobot yang paling kecil yaitu sebesar 5%, karena secara langsung tidak terlalu berpengaruh kepada kehidupan masyarakat tetapi lebih berpengaruh pada lingkungan dan pertanian, peternakan serta perikanan.

Untuk mendapatkan nilai tingkat kondisi permukiman pada setiap RT, penilaian dilakukan dengan menjumlahkan semua perkalian antara bobot dan skor pada masing-masing parameter atau indikator. Dari hasil tersebut dibuatkan kategori tingkat kondisi aset dengan pertimbangan sebagai berikut:

a. dalam penentuan skala ordinal (urutan tingkatan) dari tidak parah (skor 1) sampai dengan sangat parah (skor 4) akan membentuk range sebagai berikut:

b.
- Tidak parah: 1,00 – 1,50
- Cukup parah: 1,51 – 2,50
- Parah: 2,51 – 3,50
- Sangat parah: 3,51 – 4,00

Perhitungan detail tingkat kondisi permukiman pada Siring (barat), dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini. Nilai masing-masing parameter pada setiap RT, ditunjukkan pada setiap nilai yang ada pada kolom setiap parameter. Hasil penjumlahan dari perkalian bobot masing-masing parameter dengan nilai parameter pada setiap RT dituliskan pada kolom total skor (paling kanan). Sedangkan nilai total mean skor pada desa Siring (barat) adalah merupakan rata-rata total skor pada setiap RT. Berdasarkan kategori penilaian tingkat kondisi permukiman di desa Siring (barat) adalah sangat parah dengan nilai total mean skor sebesar 3.95.

Tabel 1. Tingkat keparahan permukiman di Desa Siring(barat).

RT	TKAset	Psikososial	air sumur	Airsungai	udara	Kes-Mas	Subsidence	bubble,retakan	TotalSkor
	20%	15%	10%	5%	15%	15%	10.0%	10.0%	
1	4	4	4	3	4	4	4	4	3.95
2	4	4	4	3	4	4	4	4	3.95
3	4	4	4	3	4	4	4	4	3.95
12	4	4	4	3	4	4	4	4	3.95
Total Mean Skor									**3.95**

Untuk penilian tingkat kondisi permukiman di desa Besuki (timur tol) menggunakan cara yang sama pada penilaian desa Siring (barat).

Tabel 2. Hasil penilaian Desa Besuki (timur tol).

RW	RT	TKAset	Psikososial	air sumur	Airsungai	udara	Kes-Mas	Subsidence	bubble,retakan	TotalSkor
		20%	15%	10%	5%	15%	15%	10.0%	10.0%	
6	1	4	3	4	3	4	4	2	4	3.60
	2	4	3	4	3	4	4	2	1	3.30
	3	2	3	4	3	4	3	2	1	2.75
	4	3	3	4	3	4	3	2	1	2.95
7	5	2	3	4	3	4	3	2	1	2.75
	6	2	3	4	4	4	3	2	1	2.80
	7	3	3	4	4	4	3	2	1	3.00
Total Mean Skor										**3.03**

Untuk desa lainnya disekitar tanggul lumpur, konsepnya sama dengan desa-desa lainnya juga digunakan, dan hasil perhitungan ditabelkan pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Penilaian Tingkat Kondisi Permukiman Di Desa Sekitar Tanggul Lumpur.

Urutan	Desa	Mean Skor	Kategori kondisi permukiman
1	Siring (barat)	3.95	Sangat Paran
2	Jatirejo (barat)	3.95	Sangat parah
3	Ketapang	3.15	Parah
4	Mindi	3.03	Parah
5	Besuki (Timur)	3.02	Parah
6	Pamotan	2.81	Parah
7	Glagaharum	2.51	Parah
8	Kalitengah	2.25	Cukup Parah
9	Gedang	2.14	Cukup Parah
10	Keboguyang	2.12	Cukup Parah
11	Gempolsari	2.09	Cukup Parah
12	Penatarsewu	2.03	Cukup Parah
13	Kalisampurno	2.03	Cukup Parah
14	Plumbon	2.02	Cukup Parah
15	Sentul	1.81	Cukup Parah

Dari hasil analisis ini terlihat bahwa desa Siring (barat) dan Jatirejo (barat) berada pada kondisi sangat parah. Kondisi permukiman yang parah berada pada desa Ketapang, Mindi, Besuki (timur tol), Pamotan dan Glagaharum. Sedangkan desa lainnya, seperti pada tabel 3, masih dalam kondisi cukup parah.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

a. Kondisi permukiman sangat parah pada desa Siring (barat), Jatirejo (barat)
b. Kondisi permukiman parah pada desa: Ketapang, Mindi, Besuki (timur tol), Pamotan dan Glagaharum
c. Kondisi permukiman cukup parah pada desa: Kalitengah, Keboguyang, Gempolsari, Penatarsewu, Kalisampurno, Plumbon dan Sentul

Saran

a. Perlu ada kajian secara komprehensif dengan lebih mendalam dan kontinyu mengenai dampak semburan lumpur, berupa, bubble dan retakan, penurunan tanah, kerusakan asset, pencemaran lingkungan, sosial, ekonomi, psikososial dan kesehatan masyarakat, serta pengurangan risiko semburan lumpur
b. Melakukan monitoring dan evaluasi keparahan permukiman pada daerah-daerah yang rawan terhadap ancaman semburan lumpur pada daerah yang cukup parah.
c. Segera menyusun dan menerapkan rencana mitigasi bagi wilayah disekitar luapan lumpur Sidoarjo untuk mengurangi ancaman dan dampak yang ditimbulkan pada daerah lainnya yang terancam, seperti monitoring dan evaluasi kondisi tanggul dan lingkungan dengan memasang alat GPS Geodetic real-time dan sistem peringatan dini.
d. Segera memasang alat detektor gas real-time untuk memonitor dan mengevaluasi semburan gas.

VIII. ACKNOWLEDGEMENT

Makalah ini merupakan sebagian dari hasil Kajian Kelayakan Permukiman dan Pengurangan Risiko Bencana Lumpur Sidoarjo tahun 2010, yang didukung oleh Pemerintah Provinsi Jawa Timur sesuai dengan Keputusan Gubernur Nomor 188/494/Kpts/013/2009. Ucapan Terima Kasih disampaikan kepada Pemerintah Provinsi Jawa Timur

PENYEDIAAN AIR MINUM DI PERMUKIMAN SEKITAR KAWASAN BENCANA LUMPUR SIDOARJO (LUSI)

Eddy Setiadi Soedjono
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email:soejono@enviro.its.ac.id

Abstrak – *Lokasi Bencana Lumpur Sidoarjo saat ini menyebar di tiga kecamatan di Sidoarjo, yaitu di Kecamatan Porong, Jabon, dan Tanggulangin. Masyarakat di ketiga kecamatan ini pada dasarnya tidak memiliki kesulitan dalam mendapatkan air untuk keperluan domestik kesehariannya karena potensi air tanah berupa sumur di kawasan ini cukup potensial. Keberadaan Bencana Lumpur Sidoarjo membuat yang sudah hampir 5 (lima) tahun ini membuat masyarakat menjadi sulit mendapatkan air baku untuk keperluan kehidupan kesehariannya. Tujuan dari kajian ini adalah melakukan studi tentang penyediaan air minum bagi masyarakat yang tinggal di sekitar tanggul di kawasan Bencana Lumpur Sidoarjo. Penelitian ini membuktikan kalau ketersediaan air minum bagi masyarakat sekitar tanggul jauh dari memuaskan dibandingkan dengan kondisi sebelum ada bencana. Khusus air sumur yang selama ini menjadi andalan penyediaan air minum bagi masyarakat, hampir semua sumur penduduk di daerah survei tercemar oleh penampungan lumpur ditanggul yang ditandai dengan tingginya kadar garam dalam air sumur. Meningkatnya kadar klorida (Cl) dalam air sumur tidak berkorelasi terhadap jarak dari pusat semburan.*

***Kata kunci**: air minum, kualitas air, lumpur Sidoarjo, sumur dangkal*

I. PENDAHULUAN

Bencana lumpur di Sidoarjo telah menenggelamkan setidaknya 6 (enam) desa di 3 (tiga) kecamatan di Kabupaten Sidoarjo. Genangan lumpur yang telah mencapai ratusan hektar masih mengancam berbagai desa di sekeliling tanggul sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Ancaman ini masih akan terus berlangsung karena lumpur yang dikeluarkan masih terus berlangsung dalam jumlah yang besar (Tingai, dkk., 2010 dan UNDAC, 2006). Isu pengungsian karena rumah yang tenggelam ataupun pemindahan penduduk karena dibuatnya tanggul seakan sudah tidak menjadi persoalan lagi sebagaimana tahun-tahun awal Bencana Lumpur Sidoarjo meletus. Persoalan permukiman yang masih dan terus tersisa adalah masih tinggalnya warga di sekitar tanggul karena berbagai alasan. Apapun alasan yang dikemukakan atas persoalan ini, air minum adalah kebutuhan pokok yang tidak dapat dipisahkan dari persoalan permukiman. Sebagai kabupaten di Jatim yang kaya air (Kabupaten Sidoarjo memiliki sistem irigasi teknis yang baik), walaupun belum terlayani oleh PDAM, warga Sidoarjo terbiasa menggunakan air sumur untuk mendapatkan kebutuhan air minumnya sehari-hari. Bentuk fisik dari sumur dapat berupa sumur pompa tangan dan sumur gali (BPS-Porong, 2008; BPS-Jabon, 2008; dan BPS-Tanggulangin, 2008). Yang dimaksud dengan kebutuhan air minum adalah air yang digunakan untuk keperluan mandi, mencuci, dapur, dan kakus (Anonim, 2005). Tetap saja ditulis sebagai air minum meskipun air yang ada masih harus dimasak dulu agar benar-benar menjadi air minum. Dalam hal ini air baku cukup sekedar jernih dan tawar. Dengan adanya Bencana Lumpur Sidoarjo, warga tidak lagi dengan mudah mendapatkan air khususnya dari sumur untuk kebutuhan hidupnya sehari-hari. Selanjutnya dikaji bagaimana kondisi masyarakat yang menggunakan air sumur dan non-sumur sebelum dan sesudah terjadinya Bencana Lumpur Sidoarjo.

Kawasan Bencana Lumpur Sidoarjo pada dasarnya menyebar di tiga kecamatan, yaitu Kecamatan Porong, Jabon, dan Tanggulangin. Beberapa desa yang sudah tenggelam serta berbatasan langsung dengan tanggul adalah: Desa Siring, Jatinegoro, Mindi, Reno Kenongo, dan Glagaharum (Kecamatan Porong); Desa Pejarakan, Kedungcangkring, dan Besuki (Kecamatan Jabon); serta Desa Kedungbendo di Kecamatan Tanggulangin (lihat Gambar 1). Sebagai kawasan pertanian yang subur dengan sistem irigasi teknis

yang baik serta berdekatan dengan Kali Porong, kawasan di sekitar Bencana Lumpur Sidoarjo pada dasarnya bukan daerah rawan air tawar. Dijumpai banyak sumur duduk (sumur dangkal/sumur gali) yang digunakan oleh warga untuk memenuhi kebutuhan air tawarnya sehari-hari. Berdasarkan BPS-Porong (2008), BPS-Jabon (2008), dan BPS-Tanggulangin (2008) disebutkan bahwa kondisi penyediaan air minum di ketiga kecamatan seluruhanya berasal dari air sumur dengan jumlah sumur dangkal (sumur gali) yang dimiliki hampir setiap rumah tangga dan diikuti dengan sebagian kecil sumur pompa tangan.

Gambar 1. Kawasan desa tenggelam dan desa berbatasan langsung dengan tanggul.

Berdasarkan data yang sama seperti disebutkan di atas, maka dijumpai berbagai penyakit yang menyebar di masyarakat. Berdasarkan urutan jumlah kesakitan yang ada maka urutan penyakit yang ada adalah: infeksi saluran pernapasan atas (ISPA), diare, pencernaan, darah tinggi, dan penyakit kulit.

Pelayanan air minum bagi masyarakat untuk berbagai keperluan domestik haruslah mengacu kepada Peraturan Menteri Kesehatan nomor 492/2010 tentang Persyaratan Air Minum. Sebelumnya Permen yang sama pernah dikeluarkan pada tahun 1990 dan tahun 2002 dan saat ini keduanya dinyatakan sudah tidak berlaku lagi. Dalam Permenkes terakhir ini ditetapkan adanya Parameter Wajib dan Parameter Tambahan yang harus diikuti.

Kajian ini mencoba memberikan gambaran: bagaimana sebenarnya masyarakat di sekitar tanggul mendapatkan air minum untuk kehidupan sehari-harinya. Dibandingkan pula dengan bagaimana kondisi penyediaan air minum sebelum terjadinya Bencana Lumpur. Khusus air tanah berupa air sumur yang menjadi sumber air minum utama masyarakat sebelum Bencana Lumpur terjadi, dilakukan analisis laboratorium untuk mengkaji berbagai kemungkinan pencemaran yang mungkin terjadi. Selanjutnya diberikan usulan bagaimana sebaiknya penyediaan air minum di kawasan tersebut.

II. METODA PENELITIAN

Kajian ini dilakukan dengan melakukan observasi ke lapangan dan wawancara dengan penduduk yang masih tinggal di sekitar tanggul. Observasi dan wawancara dilakukan guna mendapatkan informasi seperti dari mana saja air minum mereka dapatkan. Didiskusikan pula bagaimana sebelumnya masyarakat mendapatkan pasokan air minumnya. Khusus untuk air sumur, dilakukan pengambilan sampel air untuk mengetahui kondisi air jika dibandingkan dengan baku mutu air minum yang ada (Anonim, 2010).

Gambar 2 menunjukan lokasi pengambilan air sumur yang tersebar di ke13 desa yang berdekatan dengan tanggul yang juga menyebar di 3 (tiga) kecamatan: Desa Pamotan, Gedang, Glagaharum, Plumbon, dan Mindi di Kecamatan Porong; Desa Besuki Timur dan Kebuguyang di Kecamatan Jabon; serta Desa Ketapang, Gempolsari, Kalitengah, Sentul, Penatarsewu, dan Kalisampurno di Kecamatan Tanggulangin.

Parameter air minum yang diperiksa disesuaikan dengan baku mutu air minum seperti disebutkan dalam Permenkes nomor 492/2010 dengan beberapa parameter yang termasuk diperiksa seperti: solid, kekeruhan, pH, e-coli, As, Cr, Cd, nitrat, bau, warna, suhu, rasa, Fe, Cl, dan sulfat. Dilakukan pula pemeriksaan kualitas air lumpur untuk parameter yang sesuai dengan Permenkes tersebut. Hal ini dilakukan guna mempelajari kemungkinan terjadinya pencemaran terhadap air sumur dari Bencana Lumpur yang ada.

Gambar 2. Daerah survei untuk penyediaan air minum dan kondisi lingkungan.

III. ANALISIS

Sebaran permukiman dan kondisi kesakitan

Sebaran desa dan kecamatan saat pelaksanaan survei penyediaan air minum disajikan dalam Tabel 1. Ditampilkan pula sebaran jumlah RW, RT, rumah, kepala keluarga (KK), ataupun penduduknya. Lebih banyaknya jumlah rumah dari jumlah KK di Desa Kalitengah dan Desa Kalisampurno karena banyaknya rumah baru yang kemungkinan belum sempat terjual saat terjadinya Bencana Lumpur Sidoarjo. Mayoritas KK adalah lulusan SMA dengan pekerjaan wiraswasta ataupun bekerja di perusahaan swasta. Dominasi pekerjaan sebagai petani ada di Desa Besuki, Penatarsewu, Glagaharum, dan Plumbon; sedangkan penambah hanya dijumpai di Desa Plumbon.

Untuk kondisi kesehatan lingkungan yang ada maka dari hasil wawancara didapatkan informasi bahwa penyakit yang banyak disampaikan adalah penyakit kulit. Penderita penyakit ini ada yang ringan (sedikit bersisik) hingga parah (adanya radang). Banyak warga yang mengeluh soal bau yang ditimbulkan oleh lumpur yang terkadang sangat menyesakan dada. Bau ini datang sesuai dengan arah angin yang ada, sehingga tidak datang setiap saat. Lokasi tempat keluarnya bubbles tidak merata dari desa ke desa. Lokasi ini meski tampak berubah-ubah, namun keberadaannya terlihat jelas saat musim hujan tiba.

Tabel 1. Sebaran penduduk dalam RW, RT, rumah, dan KK.

Desa	RW	RT	Rumah	KK	Penduduk
Ketapang	4	12	980	1076	3524
Pamotan	4	14	946	982	2914
Gedang	5	17	1240	1559	6208
Gempolsari	4	15	1013	1143	3869
Kalitengah	11	60	3497	3397	7755
Glagaharum	3	15	707	772	3415
Besuki Timur	2	7	293	344	1398
Kebuguyang	9	27	1072	1209	4683
Sentul	3	13	751	892	2785
Penatarsewu	2	10	595	664	1957
Plumbon	2	6	272	353	820
Mindi	3	18	877	1105	4512
Kalisampurno	9	57	2514	2318	7729

IV. PENYEDIAAN AIR MINUM

Berdasarkan hasil wawancara dengan warga, maka diperoleh informasi kalau sebelum bencana memang air minum umumnya didapatkan dengan menimba ataupun memompa air sumur. Setelah terjadi bencana, maka warga menggunakan air tawar ataupun air jernih apa saja di lingkungan mereka untuk berbagai keperluan. Pasokan air minum dapat berasal dari Pemerintah Daerah (PEMDA) Sidoarjo ataupun Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) yang didatangkan dengan menggunakan tangki. Bila tidak tersedia pasokan air maka wargapun membeli air dari vendor, baik berupa truk tangki ataupun geledekan. Air hujan juga digunakan dalam kondisi darurat (emergency) bagi warga yang mempunyai fasilitas penangkap hujan (rainwater harvesting). Selanjutnya penyediaan air minum setelah terjadinya bencana dibagi ke dalam 2 (dua) kelompok, yaitu warga yang menggunakan air bukan dari sumur dan warga yang menggunakan air dari sumur.

V. BUKAN DARI AIR SUMUR

Berdasarkan observasi lapangan dan wawancara diketahui kalau kebutuhan air minum permukiman di sekitar tanggul didapatkan dengan cara membeli air seperti disebutkan di atas, menunggu kiriman truk tangki dari PEMDA Sidoarjo atau BPLS, ataupun menggunakan tampungan air hujan.

Air yang dibeli umumnya untuk minum dan didatangkan dengan menggunakan truk tangki. Namun ada juga pasokan air minum dengan truk yang didatangkan oleh PEMDA ataupun BPLS. Frekuensi kedatangan pasokan dengan truk tangki beragam: ada yang dipasok harian, mingguan, dan bahkan 10 harian. Karena kedatangan pasokan air yang terbatas, maka sebagian besar lebih banyak yang mencukupi kebutuhan air minumnya dengan membeli. Lebih dari itu, masih ada sebagian warga di Kecamatan Jabon yang menggantungkan pasokan air minumnya dari air hujan (rainwater harvesting system). Air hujan ini sifatnya hanya cadangan saja apabila pasokan air minum tidak dapat tepat datang dengan waktunya. Dari manapun sumber air minumnya, kualitas air ini haruslah sesuai dengan baku mutu air minum berlaku (Permenkes 2010).

VI. DARI AIR SUMUR

Jumlah sampel air sumur yang dianalisa di laboratorium berdasarkan lokasi di setiap desa ditunjukan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah sampel air sumur diperiksa (setiap desa diambil satu sampel saja).

Desa	Jumlah Sumur
Ketapang	12
Pamotan	8
Gedang	8
Gempolsari	7
Kalitengah	6
Glagaharum	4
Besuki Timur	7
Kebuguyang	4
Sentul	3
Penatarsewu	1
Plumbon	3
Mindi	2
Kalisampurno	3

Sebagai sumber utama air minum warga di sekitar kawasan bencana, maka air sumur diperiksa lebih teliti berkenaan kemungkinan tercemarnya air tanah dangkal tersebut oleh semburan lumpur. Dari berbagai parameter yang disyarakatkan untuk air minum, ternyata Cl dan Mn yang umumnya melampaui baku mutu air minum yang ditentukan. Tingginya kadar Mn adalah lumrah karena Mn adalah unsur yang cukup banyak berada di tanah

rawa. Masuknya Mn dalam air sumur juga lumrah karena permukiman yang ada memang dibangun dibekas tanah rawa dan masih dekat dengan rawa ataupun sawah yang ada.

Kadar Cl yang tinggi dalam air sumur tidak mengindikasikan adanya intrusi air laut karena lokasi desa yang masih jauh dari laut serta berada di daerah yang kaya akan air tawar. Tingginya kandungan kadar Cl sangat mungkin berasal dari lumpur yang memang tinggi kandungan kadar Cl-nya. Tidak ada korelasi jarak terhadap kadar Cl dari dari sumbernya (tanggul lumpur). Belum didapatkan kejelasan bagaimana pola sebaran Cl dari sumur penduduk yang ada yang dulunya dipakai sebagai sumber air domestik. Pencemaran Cl juga mengindikasikan adanya kemungkinan penceran dari senyawa lain dalam kandungan air sumur.

Berdasarkan hasil survei yang ada, tidak satupun sumur penduduk yang diperiksa terbebas dari pencemaran e-coli. Hal ini mengindikasikan kalau air tanah dangkal yang ada sudah tercemar oleh berbagai fasilitas air limbah domestik yang berasal dari jamban.

Berdasarkan hasil survei didapatkan bahwa Desa Kali Sampurno memiliki kualitas air sumur yang terbaik dibandingkan dengan air sumur yang airnya telah diperiksa dari desa-desa yang lain. Air sumur ini masih digunakan bahkan untuk air minum. Kualitas air sumur dari Desa Kalitengah masih cukup baik. Meskipun air sumur tidak dipakai untuk minum, namun air sumur masih dapat digunakan untuk keperluan domestik yang lain seperti mencuci baju dan mandi. Kedua desa ini memang cukup jauh dari tanggul ke arah Barat. Alasan inilah yang membuat kedua desa ini air sumurnya masih dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan domestik. Air sumur yang berasal dari 11 (sebelas) desa yang lain mempunyai kualitas yang tidak bagus. Kualitas air jelek ini memang sudah dapat dipastikan, karena sebelum diambil sampelnya sudah ditanyakan terlebih dahulu ke warga: sumur mana yang dianggap tercemar di sekitar wilayah yang di survei.

VII. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan dalam kajian ini adalah:

- Air pasokan dari Pemda maupun dari BPLS sebenarnya belum dapat memenuhi kebutuhan air yang dibutuhkan oleh warga. Kalaupun tersedia pasokan maka tidak pernah ada kontrol kualitas air yang ada sebagai air minum sebagai dimaksud dalam Permenkes 492/2010.
- Tingginya Mn berasal dari air rawa di sekitar sumur warga yang ada. Tidak satupun sumur yang memenuhi standar kualitas mikro-organisme (bebas dari e-coli). Sedangkan keberadaan Cl lebih diartikan kepada tercemarnya sumur penduduk karena adanya pencemaran dari lumpur di tanggul yang ada.

Tidak dijumpai adanya korelasi konsentrasi kandungan Cl terhadap jarak. Dengan demikian diperlukan perluasan kajian daerah studi guna mendapatkan pola sebaran pencemaran Cl ini terhadap sumur gali penduduk.

VIII.DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2010. Peraturan Menteri Kesehatan nomor 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Air Minum

Anonim, 2005. Peraturan Pemerintah nomor 65 tahun 2005 tentang Sistem Penyediaan Air Minum.

Badan Pusat Statistik (BPS) – 2008. Kecamatan Porong Dalam Angka.

Badan Pusat Statistik (BPS) – 2008. Kecamatan Jabon Dalam Angka.

Badan Pusat Statistik (BPS) – 2008. Kecamatan Tanggulangin Dalam Angka.

Tingai, M., Heidbach, O., Davies, R., dan Swarbrick, R., 2010. Triggering of the LUSI Mud Eruption: Earthquake vs Drilling Initiation. Geology.

United Nation Disaster Assessment and Coordination, 2006. Environmental Assessment Hot Mud Flow East Java, Indonesia: Final Technical Report

23 ANALISIS KONDISI DAMPAK SOSIAL AKIBAT LUAPAN LUMPUR SIDOARJO

Agnes Tuti Rumiati[1] dan Desi Cahyaningtyas[2]
1.Jurusan Statistika – FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Peneliti di Unit Pengkajian Pengembangan Potensi Daerah-LPPM ITS
Email: agnes_tuti@statistika.its.ac.id

Abstrak – *Semburan lumpur yang terjadi sejak 29 Mei 2006 hingga saat ini memberikan dampak yang sangat besar bagi kondisi sosial ekonomi masyarakat. Dampak ekonomi yang ditimbulkan berupa menurunnya pendapatan masyarakat akibat dari kehilangan pekerjaan, kerusakan lahan pertanian, dan berkurangnya hasil usaha. Sedangkan dampak sosial yang dirasakan adalah menurunnya hubungan sosial antar masyarakat, keresahan yang meningkat, rasa tidak aman dan terjadinya perselisihan antar warga.*

Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan di 13 desa di luar peta terdampak dapat diklasifikasikan menjadi 3 kondisi yaitu desa-desa dengan tingkat keparahan paling tinggi, rendah dan sedang. Desa yang masuk dalam kategori parah adalah Desa Mindi, Besuki Timur dan Ketapang. Desa dalam tingkat kerahan sedang adalah desa Glagaharum, Keboguyang, Gempolsari, Pamotan, Gedang, sedangkan desa dalam katagori tidak parahadalah Desa Penatarsewu, Plumbon, Sentul, Kalitengah, Kalisampurno

Secara ekonomi saat ini warga sangat diresahkan dengan menurunnya hasil pertanian dan tambak, usaha perdagangan dan usaha lain karena dampak pencemaran udara dan air. Peningkatan kebutuhan hidup disebabkan pencemaran air adalah karena warga harus membeli air bersih ntuk memasak. Peningkatan biaya transportasi juga tersa sangat berat karena justru pendapatan sedang menurun. Tingkat keresahan yang sangat tinggi di deas Mindi, Besuki Timur dan Ketapang harus menjadi perhatian khusus dan segera dicarikan solusinya karena kondisi lingkungan dan rumah tinggal yang cukup memprihatinkan.

I. PENDAHULUAN

Semburan Lumpur Sidoarjo yang terjadi sejak 29 Mei 2006, telah menenggelamkan ribuan rumah, pabrik, dan fasilitas umum di sejumlah desa di Kecamatan Porong, Tanggulangin dan Jabon, Kabupaten Sidoarjo. Semburan lumpur ini belum menunjukkan tanda-tanda akan berhenti walaupun menurut BPLS volume semburan berkurang hanya menjadi 10.000 m^3 per hari (sebelumnya mencapai 100.000 m^3). Selain semburan utama di wilayah sekitarnya sudah bermunculan semburan baru, penurunan tanah dan *bubble* dengan gas metannya. Oleh karena itu dampak semburan lumpur ini makin meluas, demikian juga dampak sosial yang dirasakan masyarakat berupa kehilangan tempat tinggal, kehilangan pekerjaan, penurunan kesehatan masyarakat, hilangnya komunitas sosial dan bahkan stress (gangguan kejiwaan).

Sampai dengan 22 Maret 2007, terdapat 7 wilayah yang tenggelam oleh lumpur panas yaitu: Desa Jatirejo, Renokenongo, Siring, Kedungbendo (termasuk Perum Tanggul Angin Sejahtera / TAS), sebagian Desa Ketapang (2 RT), Kalitengah (2 RT), DesaGempolsari (2 RT) dan Desa Glagah Arum (2 RT). Semua daerah yang terendam ini termasuk dalam Peraturan Presiden No. 14 tahun 2007 tentang lumpur yang dikeluarkan kedua (terbit tanggal 22 Maret 2007). Luas wilayah yang terendam sekitar 700 Ha dan jumlah korban sudah sekitar 12.377 KK (peta luas dampak berdasarkan Perpres 22 Maret 2007 (Rumiati, 2008).

Selanjutnya terjadi perubahan penetapan area terdampak melalui Perpres 48 tahun 2008 tentang Perubahan Peraturan Presiden No 14 tahun 2007. Telah disepakati bahwa ganti rugi yang diberikan kepada penduduk yang tinggal di wilayah yang ditetapkan oleh kedua Perpres tersebut akan mendapat ganti rugi sebesar Rp 1.000.000/ m^2 tanah pekarangan, Rp 1.500.000/ m^2untuk bangunan dan Rp 120.000/ m^2 tanah sawah/tegalan. Kesepakatan tersebut belum sepenuhnya dapat dilaksanakan oleh Lapindo, sebagian warga korban belum mendapat penyelesaian.

Warga korban semburan lumpur ini telah menyampaikan aspirasinya ke DPR Sidoarjoagar PT Minarak Lapindo Jaya segera melunasi pembayaran jual beli lahan dan aset. Sebelumnya, setiap bulan PT Minarak Lapindo Jaya mengangsur Rp 15 juta per bulan. Namun, angsuran tersebut terhenti sejak lima

bulan terakhir (Antara,19/8). Disisi lain pihak PT Minarak Lapindo Jaya menyatakan belum bisa membayar tepat waktu karena perusahaan mengalami kesulitan keuangan. Pihak PT Lapindo yang sudah mengeluarkan dana Rp 7,8 triliun untuk ganti rugi korban lumpur Sidoarjo tetap menyatakan tidak akan lepas tanggungjawab dan lari dari kewajiban ini.

Korban semburan lumpur menuntut agar pemerintah segera mengambil alih kewajiban membayar jual beli lahan tersebut karena sisa pembayaran yang sebesar 80 persen tersendat. Mereka menyatakan bahwa mereka sangat membutuhkan uang tersebut untuk biaya hidup sehari-hari serta menyewa rumah.

Di luar peta terdampak, Kelurahan Siring Barat, Jatirejo Barat dan Mindi (3 RT) telah dinyatakan bahwa wilayah tersebut tidak layak huni. Penetapan wilayah tidak layak huni berdasarkan Kajian Kelayakan Permukiman yang dilakukan oleh tim TKKP yang dibentuk oleh Gubernur Jawa Timur. Penentuan kelayakan permukiman ini didasarkan 8 kriteria diantaranya, terjadi penurunan tanah, semburan gas liar, kualitas udara, kualitas air permukaan tanah (air sumur), kualitas air sungai, kerusakan aset (tanah dan rumah), kesehatan masyarakat serta psikososial. Kondisi ini akan terus meluas jika semburan lumpur dan ikutannya masih aktif.

Disisi lain penanganan lumpur baik penanggulan dan pembuangan lumpur melalui Sungai Porong juga menimbulkan masalah sosial tersendiri. Dengan demikian persoalan sosial karena semburan ini semakin kompleks, selain ganti rugi di wilayah terdampak yang belum terselesaikan ditambah lagi dengan dampak karena meluasnya wilayah yang tidak layak huni dan dampak karena proses penanganan lumpur.

Makalah ini akan membahas tentang kondisi sosial ekonomi di luar peta terdampak berdasarkan hasil survei lapangan dan analisis; jenis kerugian apa saja yang mereka rasakan serta harapan dan solusi apa yang mereka inginkan. Diharapkan tulisan ini dapat digunakan sebagai dasar strategi penanganan persoalan sosial masyarakat korban lumpur jangka pendek, menengah dan panjang yang harus diambil oleh pemerintah dalam rangka memberikan kepastian nasib masyarakat korban lumpurSidoarjo.

II. DAMPAK SOSIAL DAN EKONOMI

2.1. Dampak Ekonomi

Desa/kelurahan yang paling dekat dengan tanggul dan belum termasuk dalam peta terdampakadalah Desa Ketapang, Pamotan,Gedang, Gemposari,KalitengahGlagaharum, Besuki timur, Keboguyang, Sentul, Penatarsewu, Plumbon dan Kalisampurno. Menempati 276 RT, jumlah rumah tangga di 13 desa/kelurahan 13.496 KK atau sekitar 51.571 jiwa. Mata pencaharian utama penduduk adalah petani, petambak dan sebagian diantaranya pedagang, pegawai, jasa dll.

Tabel 2.1 Jumlah KK, Rumah dan RT di Desa Sekitar Tanggul.

No	Desa/ kelurahan	Jumlah KK (Orang)	Jumlah Rumah (Unit)	Jumlah RT
1	Ketapang	1,076	980	12
2	Pamotan	982	946	14
3	Gedang	1,559	1,240	17
4	Gempol sari	1,143	1,013	15
5	Kalitengah	3,397	3,513	63
6	Glagaharum	772	707	15
7	Besuki timur	344	293	7
8	Keboguyang	1,209	1,072	27
9	Sentul	892	751	13
10	Penatar sewu	664	595	10
11	Plumbon	353	272	6
12	Mindi	1,105	877	18
13	Kali sampurno	2318	2514	59
Jumlah		13,496	12,259	276

Sumber: Hasil Survei 2010.

Dampak Terhadap Sumber Penghidupan

Berdasarkan hasil survei saat ini yang dirasakan paling meresahkan adalah dampak ekonomi karena kegiatan pertanian terganggu. Misalkan untuk Desa Sentul, pertanian terganggu karena kesulitan air (harus mengambil dari Desa Penatarsewu) sehingga biaya mahal atau mengandalkan tadah hujan. Pencemaran air juga menyebabkan bibit mati. Selain itu kesulitan membawa hasil panen karena Pasar Kedungbendo sudah tidak ada dan harus dibawa ke Pasar Porong dengan biaya transportasi lebih besar.

Pembuangan air lumpur melalui Kali Alo (apabila pihak BPLS membuka dam aliran air di sungai tersebut) sangat mengganggu pertanian di Desa Penatarsewu karena air tercemar. Pernah terjadi dalam satu tahun tidak panen sama sekali. Jika dam di buka warna air sungai langsung berubah menjadi hitam sehingga pengairan sawah dan tambak tercemar yang mengakibatkan panen pertanian dan tambak sangat menurun. Gagal panen yang diajukan tidak pernah mendapat tanggapan, baik dari Lapindo maupun pemerintah. Selain pertanian, perkebunan juga terganggu karena banyak pohon mangga yang mati dan sayur tidak tumbuh. Sebagian besar mata pencaharian penduduk petani dan petambak mengakibatkan hasil dari panennya rugi.

Di wilayah Desa Keboguyang, hasil pertanian merosot sampai dibawah 50% dari yang sebelumnya. Di desa ini sekitar 30% sawah (dari 120 Ha) yang terkena dampak lumpur mengalami puso, bibit tidak tumbuh. Disamping itu semenjak adanya air pembuangan lumpur melalui sungai yang ada didesa dan membanjiri persawahan warga maka terjadi penurunan hasil tanam bahkan tidak sedikit yang gagal panen. Pedagang (khususnya pedagang ikan) juga mengalami kemunduran karena produksi ikannya terganggu dan bahkan hasil tambak berkurang sampai 50% lebih.

Sementara itu warga di Desa Plumbon mayoritas petani dan petambak, sehingga area persawahan jauh

lebih luas dari area pemukiman penduduk. Semenjak adanya lumpur pendapatan warga banyak mengalami penurunan karena sawah dan tambak warga sering terbanjiri oleh air yang dialirkan melalui sungai yang ada di desa dan sungai tersebut akan meluap bila musim hujan dan luapannya membanjiri area persawahan.

Mata pencaharian penduduk Desa Besuki sebagian besar adalah petani, sekarang pengairan sawah juga tidak berfungsi karena air lumpur masuk ke sawah sehingga hasil dari panen sangat merosot. Demikian juga Desa Glagaharum, karena irigasi untuk pertanian tertutup oleh tanggul sehingga sawah tidak bisa di aliri air oleh sebab itu sekarang hanya mengandalkan sawah tadah hujan. Saat ini lahan hanya bisa ditanami tanaman pertanian dengan jenis tertentu misal kacang tanah dan padi, bahkan ada juga lahan pertanian yang sudah tidak bisa dipakai lagi karena sudah jadi tanggul. Oleh karena itu pendapatan penduduk sangat menurun karena mata pencaharian penduduk Desa Glagaharum sebagian besar adalah petani

Kelurahan Gedang sebenarnya di aliri oleh sungai kecil yang dulu masih berfungsi untuk pengairan sawah, tetapi sejak ada bencana lumpur air sungai tidak ada airnya. Mata pencaharian penduduk sebagian besar adalah peternak jangkrik terutama di RT 10 karena bau dari lumpur menyebabkan panen jangkriknya berkurang.

Setelah ada kejadian Lumpur ini, berdasarkan hasil survey pekerjaan penduduk pada umumnya adalah sebagai wiraswasta (termasuk berdagang/ meracang) dan pegawai swasta. Khususnya warga yang mempunyai usaha di wilayah desanya (wiraswasta, pedagang), mereka dihinggapi rasa khawatir karena merasa usahanya saat ini mulai tidak aman. Kekhawatiran ini diantaranya rasa takut kehilangan pelanggan dan pihak-pihak lain (koneksi, supplier, dll) yang terhubung dengan usaha ekonomi warga. Bahkan sejak ada luapan lumpur ini, konsumen sudah mulai berkurang karena sebagian merupakan warga dari desa-desa yang sudah tenggelam. Sementara itu untuk para pengrajin tas di Kecamatan Tanggulangin juga merasakan dampak terjadi lumpur ini, karena akses jalan yang tersendat, usaha ekonomi mereka ikut mengalami penurunan omzet.

Adapun secara rata-rata, pendapatan kepala keluarga per bulan sebesar Rp. 1.529.297,-. Table 2.2 berikut ini menampilkan rata-rata pendapatan kepala keluarga per bulan berdasarkan jenis pekerjaannya.

Peningkatan Pengeluaran Rumah Tangga

Kesulitan transportasi (karena sekarang angkot sudah tidak mau masuk desa) menyebabkan biaya hidup makin tinggi. Sebagai contoh, anak-anak sekolah yang dulunya naik angkot sekarang harus pakai antar jemput atau harus punya kendaraan sendiri. Selain itu, ongkos angkutan umum pada waktu dulu sangat murah, sebagai contoh, Rp 1000,- sudah sampai di Pasar Porong. Sementara bagi para pekerja, selain biaya transportasi yang meningkat akibat terbatasnya akses jalan, juga memaksa mereka untuk berangkat lebih awal, selain supaya tidak terjebak kemacetan juga karena jarak tempuh saat ini menjadi lebih jauh. Hal ini tentu saja berimbas pada membengkaknya pengeluaran untuk bahan bakar kendaraan.

Kenaikan biaya hidup yang dialami oleh Desa Penatarsewudisebabkan karena tercemarnya sumur sehingga warga harus membeli air sendiri karena permohonan untuk mendapatkan tandon air belum juga dipenuhi oleh Lapindo maupun BPLS.Untuk kepentingan mandi dan cuci masih memanfaatkan air sumur sedangkan untuk minum beli air dari prigen dan isi ulang gallon padahal sebelumnya untuk minum warga juga memanfaatkan air sumur.

Tabel 2.2 Rata-rata Pendapatan Kepala Keluarga per Jenis Pekerjaan.

Jenis Pekerjaan	Pendapatan rata-rata/ bulan (Rp)
Wiraswasta/ pedagang	1,390,511
PNS/ TNI	2,556,604
Buruh pabrik/ bangunan	861,111
Petani/ tambak/ nelayan	1,520,000
Buruh tani/ tambak	750,000
Pegawai swasta	1,633,065
Pensiunan	1,742,647
Lainnya (jasa, serabutan, dll)	921,429

Sumber : Hasil Survei,2010

2.2. Dampak Sosial

a. Keresahan Masyarakat karena penurunan kondisi lingkungan

Keresahan masyarakat dirasakan oleh hampir semua warga desa. Diantara 13 desa yang disurvei Desa Mindi memiliki keresahan yang paling tinggi. Desa Mindimerupakan desa yang paling dekat dengan tanggul namun desa tersebut tidak masuk dalam peta terdampak kecuali 3 RT (RT 10,13 dan 15), sedangkan 18 RT lainnya belum jelas statusnya. Keresahan warga Mindi yang berlarut-larut mengakibatkan gangguan psikis karena belum ada kejelasan akan statusnya. Gangguan psikis tersebut mengakibatkan warga Mindi sangat sensitif (emosional). Hal ini mengakibatkan pihak perangkat tidak mudah dalam mengambil sebuah keputusan, sehingga untuk permasalahan lumpur sidoarjo ini ditangani oleh sebuah forum yang ada didesa Mindi (FORKOM).

Keresahan masyarakat terutama disebabkan oleh kondisi lingkungan rumah tinggal yang makin buruk dan tidak nyaman. Gangguan pernafasan dan bau menyengat dialami oleh hampir semua desa walaupun desa tersebut berlokasi agak jauh dari lokasi semburan seperti Desa Plumbon yang relatif agak jauh dari tanggul.

Penyebab keresahan berikutnya adalah banjir seperti yang dirasakan oleh desa Keboguyang, Plumbon, Besuki dan Kalisampurno. Banjir dirasa meningkat setelah adanya luapan lumpur. Di Desa

Keboguyang air pembuangan dari lumpur dialirkan melalui sungai yang ada didesa sehingga waktu turun hujan maka desa tersebut pasti menjadi langganan banjir. Sedangkan di desa Kalisampurno banjirdisebabkan karena pembangunan jalan tol.

Ketidaknyamanan yang lain yang cukup meresahkan adalah banyaknya rumah yang mengalami kerusakan. Desa/ Kelurahan yang mengalami kerusakan rumah paling parah adalah Desa Besuki Timur dan Mindi. Bangunan rumah yang retak mengakibatkan warga sangat khawatir apabila rumah yang ditinggalinya roboh. Sedangkan untuk rumah di Desa Glagaharum, sebagian sudah mulai retak karena pergeseran kontur tanah dan tembok juga rusak. Seperti halnya warga di desa lainnya, sebenarnya warga sangat khawatir apabila rumah yang ditinggalinya roboh tetapi karena tidak ada biaya lagi untuk pindah menjadikan warga menjadi pasrah. Di RT 1 sampai 5 banyak rumah yang kosong karena sudah tidak ditinggali lagi dan bahkan ada yang sudah di bongkar karena sudah ada ganti rugi dari pemerintah walaupun masih dicicil. Adapun di Desa Pamotan, juga sudah terjadi pergeseran kontur tanah yang mengakibatkan dinding dan lantai rumah menjadi retak-retak. Kondisi paling parah terjadi pada 5 RT (7, 8, 12, 13 14) dan bahkan terjadi semburan air baru (terjadi sekitar Agustus 2010, di rumah Bp Sudarmanto, RT 7 dan H. Jamin RT 8) yang mengakibatkan rumah sudah tidak dapat dihuni lagi. Oleh BPLS, semburan air bercampur gas tersebut dialirkan melalui pipa supaya tidak meluber.

Masyarakat juga mengalami problem transportasi karena jalan sekarang jauh lebih padat dibanding dulu. Hal ini berakibat pengeluaran untuk transportasi juga meningkat karena akses tercepat untuk menuju jalan besar Porong sudah tertutup tanggul sehingga harus melawati jalan lain. Kondisi infrastruktur di Desa Besukiterutama jalan desa agak rusak karena sering tergenang karena aliran dari lumpur. Apabila hujan jalan desa akan banjir dan airnya sulit untuk surut karena aliran selokan rusak akibat lumpur. Sedangkan jalan desa di Desa Glagaharum sebagian ada yang rusak terutama RT 6, RT 8 dan RT 18 karena dekat dengan tanggul.

Kesehatan warga di semua desa juga terganggu setiap hari terutama bau yang tidak sedap yang keluar dari lumpur, yang mengakibatkan pernafasan menjadi sesak bahkan sampai mual-mual. Pada waktu awal kejadian lumpur ini, pemerintah yang diwakili Dinas Kesehatan Kabupaten Sidoarjo sering melakukan pemeriksaan kesehatan kepada warga, namun saat ini kegiatan tersebut sudah tidak pernah dilakukan.

Sedangkan untuk air bersih, Pemkab Sidoarjo mengirim air 10 hari sekali yang ditampung pada tandon. Bantuan air tersebut tidak bisa mencukupi kebutuhan warga karena begitu air datang, langsung habis terdistribusi. Akibatnya warga harus membeli air bersih di penjual air keliling, yang dijual di dalam jerigen dengan harga Rp 1.500/ jerigen. Air hasil pembelian tersebut digunakan oleh warga untuk minum sedangkan untuk MCK masih manggunakan air sumur walaupun kalau untuk mandi kadang-kadang tubuh menjadi gatal. Bahkan pada beberapa sumur warga sudah tidak bisa digunakan sama sekali karena tercampur rembesan air lumpur. Meskipun terdapat sungai (seperti misalnya di Desa Pamotan)tetapi kondisinya sudah tercemar karena terkena air lumpur. Pencemaran air sungai tersebut mengakibatkan sumur warga jadi tercemar terutama warga yang rumahnya dekat dengan sungai. Di lain sisi, sungai tersebut juga digunakan untuk mengaliri pertanian, hal ini akhirnya juga mengakibatkan kerusakan sawah karena dialiri oleh air yang sebenarnya sudah tercemar.

b. *Keeratan hubungan antar warga dan konflik sosial*

Sebelum terjadi kejadian luapan lumpur ini, hubungan antar warga di seluruh desa di sekitar tanggul ini sangat baik. Masyarakat hidup berdampingan dengan tentram dan damai. Kerukunan masyarakat sangat tinggi, kegiatan masyarakat baik kegiatan keagamaan, sosial dan peringatan hari besar nasional berjalan baik dan meriah. Tidak pernah terjadi konflik besar antar warga. Hal-hal demikian ini menunjukkan bahwa kondisi desa pada waktu itu sangat kondusif, aman dan stabil. Selain itu, jalan desa sepi karena tidak dijadikan jalan alternatif.

Namun semua berubah setelah terjadi luapan lumpur di sekitar desa mereka. Perasaan terancam dan tidak aman menghinggapi hampir seluruh warga. Seperti telah dipaparkan sebelumnya, keresahan baik secara ekonomi, kesehatan, kehidupan sehari bahkan kekhawatiran kehilangan harta benda mengakibatkan warga menjadi lebih sensitif. Berdasarkan hasil survey, hubungan antar masyarakat di Desa Mindi dan Ketapang menjadi agak renggang akibat terjadi perselisihan antar warga. Hal ini juga terjadi karena interaksi sosial yang agak menurun, diakibatkan karena beberapa warga sudah ada yang pindah rumah, atau karena kesibukan pekerjaan yang membuat mereka memang harus bekerja lebih keras dari sebelumnya.

Sebenarnya perselisihan antar warga terjadi di semua desa di sekitar tanggul, khususnya yang berkaitan mengenai kejelasan nasib dan kekhawatiran warga. Meski demikian, perasaan senasib sepenanggungan membuat mereka mengedapankan kekeluargaan untuk menyelesaikan masalah. Ketakutan, kecemasan dan rasa putus asa dirasakan oleh sebagian besar warga, yang membuat perasaan menjadi lebih sensitif, yang akhirnya berimbas pada hubungan sosial di masyarakat.

c. *Keamanan Lingkungan*

Keeratan hubungan antar warga yang sangat bagus sebelum kejadian lumpur juga didukung oleh keamanan lingkungan yang cukup tinggi, sebesar 94,9% responden menyatakan bahwa desanya dahulu adalah desa yang sangat aman. Namun setelah kejadian luapan lumpur, keadaan tersebut juga mengalami penurunan. Hanya 51,6% responden yang

tidak merasakan perubahan keamanan dari sebelum dan sesudah kejadian lumpur. Kecemasan yang cukup tinggi akibat luapan lumpur ini mengakibatkan menurunnya rasa aman bagi warga. Karena bagaimanapun dampak dari luapan lumpur ini menyentuh seluruh aspek kehidupan masyarakat. Kejadian kriminal/ tindak kejahatan juga meningkat, terutama di Desa Penatarsewu, Sentul, Ketapang, Besuki, dan Kalitengah. Hal ini terjadi seiring dengan meningkatnya jumlah orang tak dikenal yang masuk ke desa-desa di sekitar tanggul. Sedangkan untuk wilayah desa yang dijadikan sebagai jalan alternative, seperti misalnya di Desa Kalitengah, telah beberapa kali terjadi kecelakaan lalu lintas.

d. Timbulnya lembaga informal baru

Dengan adanya kasus semburan lumpur di beberapa desa bermunculan organisasi baru di masyarakat yang sengaja dibentuk untuk membahas kejadian lumpur terkait dengan persoalan-persoalan sosial. Lembaga-lembaga tersebut pada umumnya dibentuk oleh sekelompok warga namun atas sepengetahuan pemerintah desa, yang dimaksudkan untuk menampung aspirasi masyarakat terutama yang terkait dengan kejelasan status desa mereka dan persoalan ganti rugi.

Beberapa nama yang digunakan lembaga-lembaga baru sama di masing-masing desa, namun sebenarnya kelompok yang berbeda. Diantaranya adalah Tim 7 di Desa Besuki; Tim 9 di Desa Gempolsari, Ketapang dan Pamotan; Forkom Lumpur di Desa Mindi; Tim 12 di Desa Ketapang; Tim Gabungan Korban Lumpur di Gempolsari, Kalitengah, Kalisampurno, Ketapang dan Sentul.

Namun dari berbagai lembaga informal tersebut, yang eksistensinya paling terlihat karena sangat aktif adalah Lembaga Forkom di Mindi. Melalui lembaga ini warga menyampaikan aspirasinya dan berharap kejelasan status karena warga menyatakan bahwa Desa Mindi sudah tidak layak untuk dihuni. Warga benar-benar merasakan ketidaknyamanan di tempat tinggal yang ada saat ini, namun untuk pindah juga tidak semudah karena ada banyak hal yang harus dipertimbangkan. Forkom di Mindi ini juga dimanfaatkan sebagian warga dari Desa Glagaharum untuk menyampaikan aspirasinya.

Meskipun lembaga yang lain bisa dikatakan tingkat keaktifannya rendah, bahkan beberapa lembaga sudah tidak aktif lagi, namun orang-orang yang dahulu terlibat masih menjadi tim bayangan di desa untuk menampung aspirasi warga.

III. KERUSAKAN ASET

Analisis kerusakan asset didasarkan pada jenis kerusakan yang terjadi di bangunan rumah. Berdasarkan kondisinya, tingkat kerusakan bangunan dikelompokkan menjadi 5, yaitu:

[1] Masih utuh: tidak ada kerusakan sama sekali
[2] Lantai menggelembung, pecah-pecah
[3] Terjadi kondisi [2], lapisan semen dinding mengelupas, dinding retak
[4] Terjadi kondisi [3], atap retak/ pecah/ berlubang
[5] Sudah parah, terjadi kondisi [4] dan bahkan sudah roboh

Untuk menentukan tingkat keparahan banguan rumah, selanjutnya dilakukan pembobotan pada masing-masing klasifikasi. Dimana bobot terendah diberikan pada bangunan yang masih untuh, dan bobot tertinggi diberikan pada kondisi rumah yang sudah sangat parah, bahkan hampir/ sudah roboh. Dari hasil analisis tersebut diperoleh 3 klasifikasi desa berdasarkan tingkat keparahannya, yaitu:

- Parah
  Kondisi wilayah yang masuk dalam kategori ini terdiri dari desa-desa yang lebih dari 20% dari seluruh bangunan rumahnya sudah mengalami kerusakan yang cukup parah, mulai dari lantai, dinding dan atap. Bahkan sebagian diantaranya sudah tidak bisa dihuni lagi karena hampir/ sudah roboh. Adapun desa yang termasuk dalam kategori ini diantaranya Desa Mindi, Besuki Timur dan Ketapang.
- Sedang
  Kondisi wilayah yang masuk dalam kategori ini terdiri dari desa-desa yang antara 10 - 20% dari seluruh bangunan rumahnya sudah mengalami kerusakan mulai dari lantai, dinding dan atap. Adapun desa yang termasuk dalam kategori sedang adalah Desa Glagaharum, Keboguyang, Gempolsari, Pamotan, Gedang
- Tidak Parah
  Kondisi wilayah yang masuk dalam kategori ini terdiri dari desa-desa yang bangunan rumahnya mengalami kerusakan kurang dari 10 % dari seluruh bangunan di desa. Adapun desa yang termasuk dalam kategori sedang adalah Desa Penatarsewu, Plumbon, Sentul, Kalitengah, Kalisampurno

IV. HARAPAN MASYARAKAT

Hasil diskusi terfokus maupun hasil survei menunjukkan bahwa masyarakat bingung menentukan sikapnya, antara bertahan dan pindah ke lokasi lain. Beberapa desa seperti Gedang, Glagaharum, dan Pamotan, sebagian besar masyarakatnya lebih ingin bertahan tetap tinggal di desanya.Sementara itu Desa Besuki, Keboguyang, Ketapang dan Sentul proporsi yang ingin pindah dan ingin bertahan cukup berimbang. Adapun untuk Desa Mindi, Kalisampurnodan Plumbon lebih banyak yang ingin segera pindah dari desanya.

Keinginan warga yang ingin pindah sudah jelas dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang mereka rasakan sudah sangat tidak aman dan tidak nyaman lagi. Sebagai contoh keresahan warga Desa Mindi disebabkan karena kondisi lingkungan yang makin buruk, diantaranya:

- Banyaknya bubble yang muncul.

- Tanah sudah mengalami penurunan dilihat dari banyaknya rumah yang mengalami keretakan pada dinding,lantai dan atap.
- Air sudah tidak layak untuk dikonsumsi bahkan untuk mandi karena air sudah tercemar dilhat dari munculnya seperti minyak disumur warga sehingga bila kena kulit maka akan terasa gatal.
- Udara terasa tercemar dan sangat mengganggu pernafasan, beberapa warga telah mengalami sesak nafas. Masyarakat takut terhadap kesehatan balita yang masih rentan dengan kondisi lingkungan.
- Ekonomi karena pendapatan warga menurun drastis sedangkan pengeluaran meningkat, terutama untuk transportasi sehari2 (untuk ketempat tujuan sekarang harus memutar karena akses cepat sudah putus).
- Tidak ada kejelasan ganti rugi untuk gagal panen.

Sementara itu bagi warga di Desa Plumbon, mereka sangat khawatir apabila Desa Glagaharum tenggelam maka Desa Plumbon akan terisolasi karena akses keluar masuk Desa Plumbon hanya Jalan Glagaharum. Sedangkan bagi warga yang secara lokasi masih termasuk jauh dari tanggul (seperti Desa Penatarsewu) juga sangat berharap luapan lumpur segera tertangani supaya tidak merembet ke desa mereka.

Secara keseluruhan, harapan warga di desa-desa sekitar tanggul diantaranya:

- Segera ada keputusan dari pemerintah tentang status dan perlakuan terhadap warga desa di sekitar tanggul. Apabila memang wilayahnya sudah dinyatakan tidak layak huni, maka harus segera disosialisasikan supaya warga lebih siap, dan diberikan kepastian hukum.
- Diberikan ganti rugi untuk petani tambak dan ganti rugi karena gagal panen dan menurunnya hasil pertanian
- Ganti rugi untuk rumah tinggal yang rusak
- Perbaikan infrastruktur, seperti: jalan, sarana transportasi, saluran irigasi, kerusakan tiang listrik.
- Penyediaan air bersih utuk wilayah yang belum mendapatkan bantuan, dan peningkatan penyediaan air bersih bagi warga yang sudah mendapatkan bantuan tetapi masih belum merata.
- Mempertimbangkan kembali pembuangan lumpur melalui sungai yang dapat mengganggu pertanian dan menyebabkan banjir.
- Penanganan tanggul harus ditingkatkan untuk memperkecil kemungkinan jebolnya tanggul.
- Ada jaminan kesehatan masyarakat untuk jangka panjang.
- Membuka lapangan kerja baru, atau pengadaan modal untuk usaha untuk mengurangi pengangguran.
- Memberikan informasi yang benar dan akurat mengenai lumpur, karena selama ini penjelasan mengenai hal tersebut terkesan simpang siur.

Apabila memang kegiatan seismik harus dilakukan untuk mengetahui kondisi bawah tanah, maka harus dilakukan sosialisasi terlebih dahulu.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Persoalan sosial akibat dari semburan lumpur Sidoarjo makin lama makin kompleks, bukan hanya karena pembayaran Lapindo yang tersendat di area terdampak menurut Peraturan Presiden tetapi juga di area sekitarnya yang saat ini sebagian telah tidak layak lagi utuk ditinggali. Penduduk di sembilan RT yang sudah dinyatakan tdak layak huni hanya mendapatkan bantuan jadup dan sewa rumah sehingga mereka merasa masih menguasai rumah tinggal dan beberapa warga bahkan masih menghuni di wilayah 9 RT tersebut. Dengan melihat kondisi saat ini perlu dipikirkan solusi jangka panjang karena pemberian jadub dan sewa rumah hanya bersifat sementara padahal bahaya lumpur belum terlihat akan segera berhenti.

Masyarakat di kelurahan Mindi, Ketapang dan Besuki memiliki tingkat kerusakan aset terparah, dan kondisi lingkungan rumah tinggalnya sudah sangat buruk. Oleh karena itu tigkat keresahan masyarakatnya juga paling tinggi terutama di kelurahan Mindi. Persoalan ekonomi dan konflik sosial memiliki intensitas yang makin tinggi Kelurahan/desa dengan tingkat keparahan ligkungan tinggi membutuhkan keputusan segera dari pemerintah baik dalam penetapan status maupun bentuk penanganannya.

Persoalan pertanian dan usaha tambak di wilayah yang jauh dari tanggul (seperti desa Penatarsewu, Sentul dan Plumbon) karena kondisi lingkungan buruk termasuk karena adanya pembuangan lumpur lewat sungai perlu segera dicarikan jalan keluarnya. Sesuai dengan Undang-Undang Lingkungan Hidup no 23 Tahun 1997 bahwa kegiatan yang berdampak pada lingkungan maka pemrakarsa wajib melakukan pengelolaan linkungan dalam kasus ini pembuangan lumpur berdampak pada kegiatan tambak dan pertanian, sehingga pengelolaan ligkungan harus dilakukan oleh pemrakarsa sebagai tanggung jawab likungan oleh pelaksana proyek. Disarankan untuk membuat kajian ulang tentang kegiatan pembuangan lumpur atau dengan memberikan ganti rugi karena kegagalan panen atau penurunan hasil pertanian dan usaha tambak yang terjadi.

Peningkatan pengeluaran rumah tangga karena terjadi karena pencemaran sumur yang terjadi di desa Penatarsewu menyebabkan masyarakat harus membeli air untuk kebutuhan minum dan masak. Oleh karena itu pemerintah/BPLS diharapkan segera menyelesaikan persoalan kebutuhan air bersih di desa Penatarsewu dan desa lain yang memiliki persoalan yang sama.

Beberapa desa mengalami kesulitan transportasi karena angkutan umum (angkot) tidak lagi masuk ke desa dan sebagian jalan rusak seperti terjadi di desa Penatarsewu. Sentul, Keboguyang. Disarankan untuk segera memperbaiki jalan desa dan menyediakan angkutan umum yang beroperasi di dalam desa.

DAFTAR PUSTAKA

Noor Endah, dkk, 2007. *Analisis Resiko Bencana Lumpur Porong Skala Lokal Sidoarjo dan Regional Jawa Timur*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Bambang Heru, 2007. *Analisis Resiko terhadap Perekonomian Sidoarjo dan Jawa Timur.*

Agnes Tuti R, 2007. *Analisis Sosial Ekonomi Masyarakat akibat Luapan Lumpur Porong.* Surabaya: Simposium ITS.

Tim Kajian Kelayakan Permukiman dan Pengurangan Risiko Bencana Semburan Lumpur Sidoarjo, 2008.*Kajian Kelayakan Permukiman dan Pengurangan Risiko Bencana Lumpur Sidoarjo.* Surabaya: Pemerintah Propinsi Jawa Timur.

Tim Kajian Kelayakan Permukiman dan Pengurangan Risiko Bencana Semburan Lumpur Sidoarjo, 2010.*Kajian Kelayakan Permukiman dan Pengurangan Risiko Bencana Lumpur Sidoarjo.* Surabaya: Pemerintah Propinsi Jawa Timur

24 PENGARUH LUAPAN LUMPUR SIDOARJO TERHADAP KARAKTERISRIK IONOSFER PADA KETELITIAN SURVEY DENGAN GPS

Mokhamad Nur Cahyadi[1] dan Widi Hastono[2]
1. DoenTeknik Geomatika FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. MahasiswaTeknik Geomatika FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email:cahyadi@geodesy.its.ac.id

Abstrak –*Semburan dari lumpur panas yang dikenal dengan sebutan LUSI (gabungan dari kata "Lumpur" dan "Sidoarjo") terjadi secara tiba-tiba pada 26 Mei 2006, memuntahkan lumpur panas ke kawasan yang padat penduduk, menyebabkan munculnya sebuah kolam lumpur yang besar. Letusan ini terus berlanjut sejak saat itu, mengeluarkan lebih dari 150.000 meter kubik lumpur setiap harinya sehingga berdampak terhadap Land Subsidence, yaitu penurunan muka tanah akibat keluarnya gas dan lumpur secara massive dari dalam tanah ke permukaan. Land Subsidence dapat dideteksi menggunakan pengukuran GPS.*

Perlu diketahui, bahwa satelit GPS memancarkan sinyal-sinyal elektromagnetik yang sebelum diterima oleh antenna receiver GPS akan melewati medium lapisan-lapisan atmosfer, yaitu troposfer dan ionosfer. Dalam kedua lapisan ini, sinyal GPS akan mengalami gangguan (bias) yang akan menyebabkan kesalahan pada ukuran jarak dari satelit GPS ke antenna receiver, hal tersebut menyebabkan kekurangtelitian pada penentuan posisi pengamat. Oleh karena itu estimasi besaran bias troposfer dan ionosfer perlu dilakukan untuk memperoleh hasil posisi teliti.

Informasi tentang karakteristik ionosfer dalam suatu wilayah biasanya diwakili oleh kerakteristik Total Electron Content (TEC). Penentuan TEC dengan GPS pada dasarnya adalah suatu inverse problem dari penentuan posisi dengan GPS, dalam hal ini dengan menggunakan receiver GPS tipe geodetic dual frekuensi pada titik yang telah diketahui koordinatnya, kita akan dapat menghitung besarnya TEC dalam arah pengamatan-pengamatan satelit GPS. Dengan mengetahui karakteristik TEC yang ada di atas langit Sidoarjo, tepatnya di daerah sekitar luapan LUSI, maka dapat dicari besarnya koreksi ionosfer untuk keperluan kalibrasi TEC bagi pengguna GPS. Dengan diketahui nilai TEC-nya maka dapat diketahui nilai VTEC, dimana nilai VTEC independent terhadap sudut vertical satelit. Analisa penelitian ini juga meliputi besarnya koreksi jarak pada setiap satelit terhadap setiap satelit yang ada di atas langit LUSI.

***Kata kunci** : GPS, receiver, satelit, TEC, VTEC*

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ionosfer adalah salah satu lapisan yang ada pada atmosfer, dimana lapisan ini kira-kira berada pada ketinggian 50 sampai 1000 km di atas permukaan bumi. Lapisan ini memilki sifat memantulkan gelombang yang memilki panjang gelombang yang besar seperti gelombang radio. Saat melewati lapisan ionosfer, sinyal *Global Positioning System* (GPS) mengalami gangguan (bias) sehingga mengakibatkan waktu tunda pada dua frekuensi yang sebanding dengan *Total Electron Content* (TEC) sepanjang lintasan sinyal dari satelit GPS ke receiver. Bias yang disebabkan oleh adanya lapisan ionosfer menjadi salah satu penyebab kesalahan pada ukuran jarak dari satelit GPS ke antena receiver, yang akan menyebabkan kekurang telitian pada penentuan posisi pengamat. Oleh karena itu estimasi besaran ionosfer perlu dilakukan untuk memperoleh hasil posisi yang lebih teliti. TEC adalah jumlah elektron dalam kolom vertikal (silinder) berpenampang 1 meter persegi sepanjang lintasan sinyal dalam lapisan ionosfer. Hal inilah yang menyebabkan informasi tentang karakteristik ionosfer suatu wilayah, biasa diwakili oleh karakteristik TEC.

Penelitian ini mengambil contoh kasus luapan Lumpur Lapindo di Sidoarjo yang terjadi sejak tahun 2006 sampai sekarang. Banyaknya material gas yang dikeluarkan bersamaan dengan lumpur dapat memengaruhi karakteristik TEC di atas Lapindo dan daerah sekitarnya. Sehingga apabila dikemudian hari dilakukan pengamatan GPS yang di daerah Lapindo dan sekitarnya, maka informasi karakteristik TEC yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat membantu.

1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :
a.Bagaimana karakteristik TEC di atas LUSI?
b.Berapa nilai koreksi TEC terhadap jarak?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

a. Data yang digunakan adalah data-data dari stasiun pengamatan *Continously Operating Reference Station* (CORS) GPS-ITS Surabaya.
b. Wilayah studi meliputi daerah sekitar luapan LUSI.
c. Analisa yang dilakukan adalah terhadap karakteristik TEC/ VTEC, besarnya koreksi terhadap *slant range*, dan besarnya koreksi *slant range* pada tiap satelit di atas LUSI dan sekitarnya.

1.4. Tujuan Akhir

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik TEC di atas LUSI dan sekitarnya.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat diketahui besarnya koreksi *slant range* pada tiap satelit di atas LUSI dan sekitarnya.

II.TINJAUA PUSTAKA

2.1 Studi Ionosfer Menggunakan GPS

Satelit GPS memancarkan sinyal-sinyal gelombang elektromagnetik yang sebelum diterima oleh antena receiver GPS, akan melewati medium lapisan-lapisan atmosfer yaitu ionosfer dan troposfer. Dalam kedua lapisan ini, sinyal GPS akan mengalami gangguan (bias).

Bias yang disebabkan oleh adanya lapisan troposfer dan ionosfer ini ditambah dengan kesalahan orbit dan waktu akan menyebabkan kesalahan pada ukuran jarak dari satelit GPS ke antena receiver, yang akan menyebabkan kekurang telitian pada penentuan posisi pengamat. Oleh karena itu estimasi besaran bias troposfer dan ionosfer perlu dilakukan untuk memperoleh hasil posisi yang lebih teliti.

2.4 Deskripsi *Total Elektron Content* (TEC)

TEC adalah jumlah kandungan elektron dalam suatu silinder berpenampang 1 meter persegi yang panjangnya sama dengan jarak dari satelit ke penerima GPS. Deskripsi dari TEC juga dapat dilihat pada Gambar 2.2

Gambar 2.2. Deskripsi tentang TEC, (Sumber: Abidin, 1996).

Di samping STEC, dikenal juga istilah Vertical TEC (VTEC), yang merepresentasikan TEC dalam arah vertical. Nilai TEC biasanya dinyatakan dinyatakan dalam TECU. Dimana 1 TECU adalah sama dengan 10^{16} elektron/ m^2. Nilai TEC ionosfer pada umumnya berkisar antara 1-200 TECU.

2.5 Penentuan TEC

Seperti diketahui, bahwa frekuensi L1 adalah 1575,42 MHz dan frekuensi L2 adalah 1227,60 MHz dengan frekuensi dasar (f_0) adalah 10,23. Receiver GPS dual frekuensi mengukur mengukur perbedaan penundaan ionosfer antara sinyal L1 dan L2. Penundaan untuk receiver GPS dual frekuensi dituliskan sebagai berikut:(Norsuzila dkk, 2010)

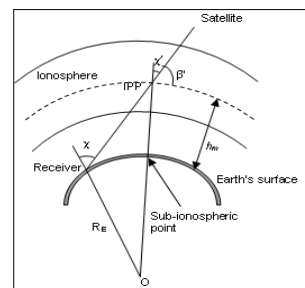
$$P_2 - P_1 = 40{,}3TEC\left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2}\right) \text{(i)}$$

dimana P_1 dan P_2 adalah panjang lintasan, f_1 dan f_2 adalah tinggi dan rendah yang masing-masing frekuensi GPS yang sesuai. Dari persamaan (iii), TEC dapat didapatkan dengan rumus sebagai berikut : (Norsuzila dkk, 2010)

$$TEC = \frac{1}{40{,}3}\left[\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}\right](P_2 - P_1) \text{(ii)}$$

2.6 Penentuan VTEC

Untuk menentukan VTEC, dapat digunakan model layar tunggal ionosfer. Titik dimana VTEC ditentukan dinamakan *Ionospheric Pierce point* (IPP).

VTEC=TEC cosγ´

Gambar 2.2. Ionospheeric Single Layer Model (Sumber : Norsuzila dkk, 2008).

III. METODOLOGI PENELITIAN

- **3.1 Lokasi Penelitian**

  • Lokasi penelitian ini mengambil studi dari data satelit GPS yang melintas di atas LUSI dan sekitarnya pada tanggal 9 Nopember 2010.

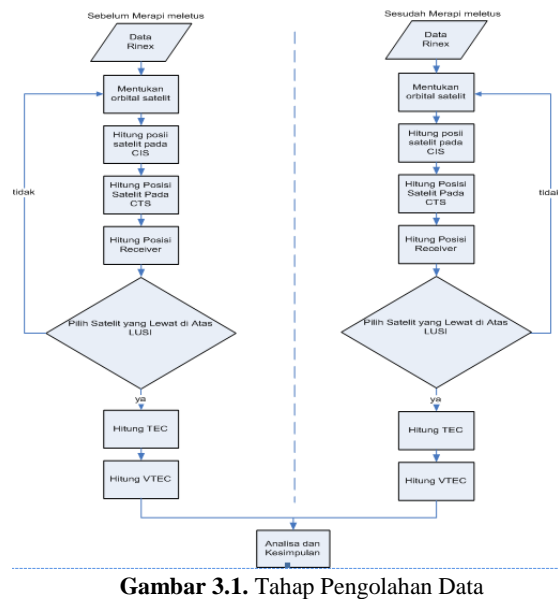
  •

- **3.2 Data**

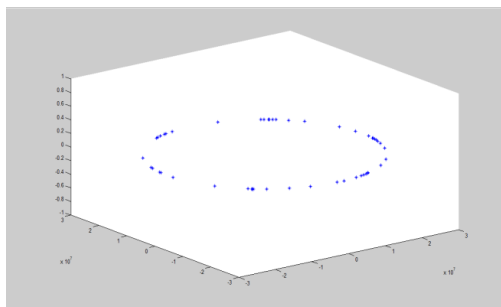
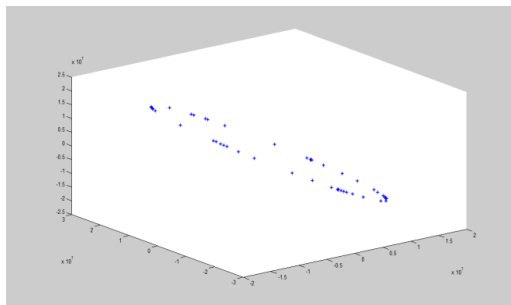
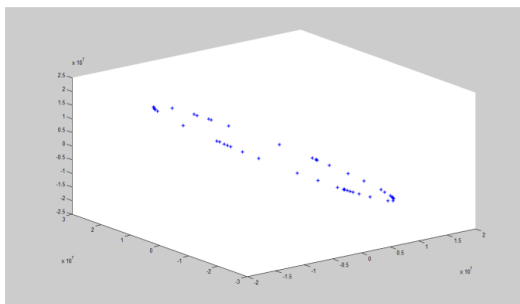
  • Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah dari stasiun pengamatan CORS GPS-ITS Surabaya.

  •

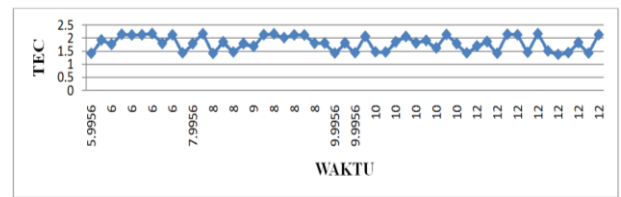
3.4 Tahap Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini adalah:

Gambar 3.1. Tahap Pengolahan Data

IV. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Posisi Lintasan Satelit

Gambar 4.1 Lintasan satelit pada orbital plane.

Gambar 4.2 Lintasan satelit pada ICRS

Gambar 4.3 Lintasan satelit pada orbital plane

Gambar di atas menunjukkan orbit lintasan satelit GPS pada saat berada di orbital plane, kemudian pada saat ditransformasikan pada ICRS dan ITRS.

4.2 Karakteristik TEC

Gambar di atas menunjukkan besar koreksi jarak dari satelit ke receiver. Koreksi jarak tiap-tiap satelit tidak sama, karena seperti kita ketahui sebelumnya bahwa karakteristik TEC selalu berubah-ubah setiap saat, sehingga untuk melakukan koreksi harus dilakukan terhadap tiap-tiap satelit.

V. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah Koreksi jarak untuk tiap-tiap satelit ke receiver pada tanggal 9 Nopember 2010 berkisar antara 3-6 meter.

Daftar Pustaka

Abdullah, M., Norsuzila, Y., dan Ismail, M., 2008. “Levelling Process of Total Electron Content (TEC) Using Malaysia Global Positioning System (GPS) Data”. American J. of Engineering and Applied Sciences 1, 3: 223-229.

Abidin, H.Z. 2007. Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT PradnyaParamita

Muslim, B., Abidin, Z.A., Liong, T.H., Kuntjoro, W., Subarya, C., Andreas, H., dan Gamal, M., 2006. “Pemodelan TEC Regional dari Data GPS Stasiun Tetap di Indonesia dan Sekitarnya”. Proceeding ITB Sains dan Teknologi 38A, 2:163-180.

Norsuzila, Y., Abdullah, M., Ismail, M., Ibrahim, M., dan Zakaria, Z., 2010. “Total Electron Content (TEC) and Estimatipon of Positioning Error Using Malaysia Data”. Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol 1.

Ya’acob, N., Abdullah, M., dan Ismail, M., September 2008. “Determination of GPS Total Electron Content using Single Layer Model (SLM) Ionospheric Mapping Function”. International Journal of Computer Science and Network Security 8, 9:154-160.

______<URL:http://geodesy.gd.itb.ac.id/?page_id=91>.

Dikunjungi pada tanggal 17 Nopember 2010, jam 16.27

25 Evaluasi Hasil Penurunan Tanah dan Sebaran Area Genangan Lumpur di Wilayah Bencana LumpurPorong Sidoarjo

Teguh Hariyanto
Jurusan Teknik Geomatika – FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: teguh_hr@geodesy.its.ac.id

Abstrak – *Sejak awal tahun 2009 cincin pusat semburan yang digunakan untuk mengarahkan lumpur ke Kali Porong hilang akibat penurunan tanah, sehingga kesulitan dalam mengarahkan lumpur ke Kali Porong . Penambahan lumpur setiap harinya di sertai dengan penambahan tinggi tanggul yang sekarang sudah mencapai kurang lebih 10 meter agar tidak mengalami overtopping, untuk itu maka diperlukan metoda pemantauan sebaran lumpur menggunakan data penurunan tanah dengan pengukuran metoda GPS-Geodetik serta data citra ikonos bulan Juli,Agustus dan September 2009.*

Berdasarkan pemantauan penurunan secara berkala dari bulan September, Oktober ,Nopember 2009 dan Maret 2010 didapat hasil bahwa area yang terletak diutara dan barat mengalami penurunan dengan nilai terbesar 60 centimeter, sedangkan pada area disebelah selatan dan timur tanggul mengalami kenaikan sebesar rata rata 30 centimeter.

Berdasarkan hasil pemantauan melalui citra Ikonos pada bulan Juli, Agustus, dan September tahun 2009 maka pada area didalam tanggul didapat jenis lumpur campuran, lumpur baru, solid/lumpur yang mengeras dan genangan air. Pada area selatan tanggul sudah merupakan area lumpur yang telah mengeras dan berupa padatan seperti daratan, lumpur yang langsung berasal dari pusat semburan berada di wilayah tanggul bagian Utara dan Barat.

Dari hasil penurunan dan sebaran lumpur baru yang ada saling berhubungan sehingga berakibat pada tanggul area tersebut sering mengalami retakan yang dapat memicu adanya percepatan jebolnya tanggul. Untuk itu sebagai sasaran utama dalam pengelolaan bencana lumpur adalah wilayah desa yang terletak pada area rentan jebolnya tanggul yaitu Desa Siring, Ketapang dan Desa Gempolsari sebagai prioritas utama.

Kata kunci: *GPS geodetik, penurunan tanah, citra Ikonos,pengelolaan bencana.*

I. LATAR BELAKANG

Pada tanggal 29 Mei 2006, di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, muncul semburan lumpur yang lokasinya berada sekitar 150 m dari lokasi eksplorasi sumur Banjarpanji #1. Debit semburannya pada saat ini adalah sekitar 120.000 m3/hari (teguh,2007), dan debit tersebut dapat membesar setiap harinya. Luberan lumpur tersebut telah menenggelamkan rumah, bangunan sekolah, bangunan pabrik dan lahan pertanian yang berada disekitar sumber semburan lumpur.

Penanganan terhadap dampak sosial akibat luberan lumpur dan upaya penutupan sumber semburan lumpur telah dilakukan sejak awal. Pemerintah membentuk Tim Nasional Penanggulangan Semburan Lumpur di Sidoarjo (Timnas PSLS) melalui Keputusan Presiden No 13 Tahun 2006, September 2006, tepatnya 102 hari setelah musibah berlangsung. Tugas dari Timnas adalah melaksanakan instruksi Presiden tentang 7 (tujuh) langkah penanganan musibah lumpur di Sidoarjo yang diputuskan pada Sidang Kabinet Paripurna 27 September 2006,

Semua rencana kerja Timnas tidak dapat terselesaikan secara tuntas sampai akhir masa tugasnya selama satu tahun dengan perpanjangan waktu satu bulan. Untuk melanjutkan tugas Timnas tersebut, Presiden membentuk tim baru yang dinamakan Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) dengan tugas melaksanakan 7 (tujuh) langkah penanganan musibah lumpur di Sidoarjo yang belum tuntas diselesaikan oleh Timnas.(noor dkk,2008)

Berbagai kegiatan yang dilakukan tim BPLS sampai dengan saat ini bertujuan untuk menghambat aliran dari pusat semburan dengan membuat tanggul cincin serta mengusahakan aliran lumpur menuju ke area pembuangan di Kali Porong. Dalam mempertahankan ketinggian tanggul cincin dan tanggul yang lainnya diperlukan volume urugkan dari sirtu yang sangat besar jumlahnya dikarenakan jumlah lumpur perharinya antara 100.000 m3 sampai dengan 120.000 m3 serta adanya penurunan di pusat semburan atau tanggul cincin sebesar 20 cm per harinya(teguh,2007/2008). Pada setiap harinya tidak dapat diprediksi dengan tepat adanya penurunan yang sangat ekstrem pada pusat

semburan, sehingga sering terjadi tanggul jebol. Berdasarkan pemberitaan di koran Jawa Pos tanggal 18 Maret 2009 dimana tanggul cincin sudah sangat susah untuk dipertahankan, artinya faktor penurunan tanah yang sifatnya ekstrim sudah mengalami perluasan area dari pusat semburan dan ini akan membahayakan fasilitas infrastruktur yang ada di sekitar wilayah tersebut.

Pengukuran penurunan tanah yang dilakukan secara periodik dengan GPS Geodetik dalam jangka waktu lama diperlukan beserta dampak yang ditimbulkan dapat digunakan untuk mengetahui dan memprediksi area yang akan terkena dampak dari luberan lumpur tersebut. Hasil ukuran tersebut juga akan digabungkan dengan pola dan arah luberan lumpur melalui perekaman citra satelit resolusi tinggi dengan sifat multitemporal untuk mengetahui tingkat dampak dan kerawanan akibat semburan lumpur tersebut beserta prediksinya untuk 5 tahun kedepan. Kegiatan yang dilakukan ini akan menunjang untuk pengelolaan bencana lumpur di Porong Sidoarjo dalam jangka waktu yang panjang, diperkirakan oleh para ahli geologi 20 tahun lagi semburan lumpur akan berakhir

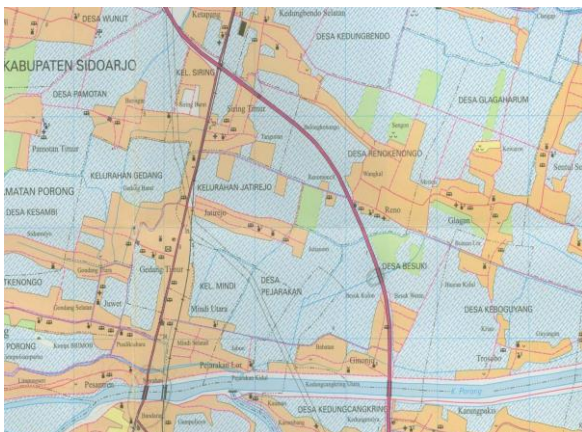
II. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

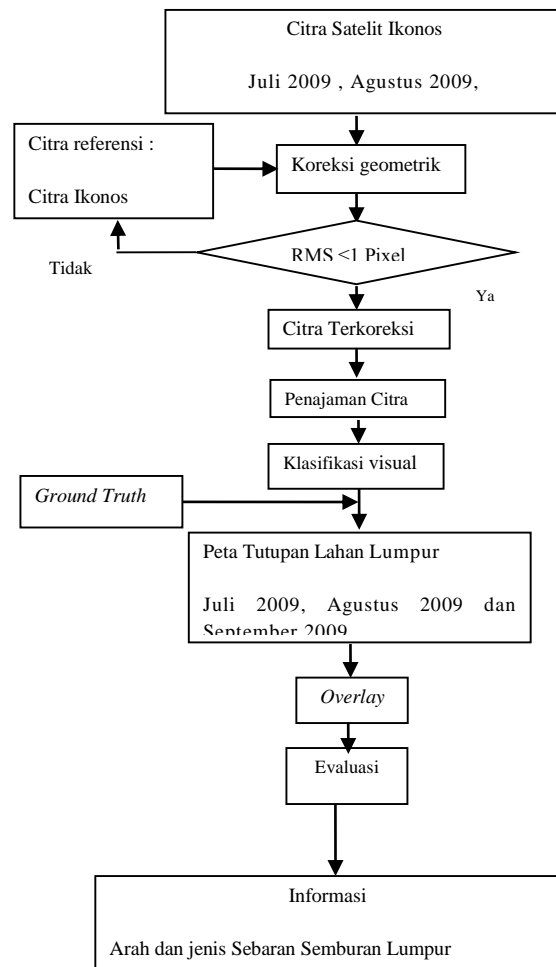
Mengaplikasikan hasil ukuran besaran dan arah penurunan tanah secara berkala dipusat, disekitar area tanggul utama serta diluar area yang terdampak dengan menggunakan teknologi Global Posisioning System Geodetik untuk waktu perioda tertentu, beserta citra satelit multitemporal pada area tersebut untuk mengetahui sebaran dan arah semburan lumpur.

Dari kedua data hasil pengamatan tersebut dicari adanya korelasi antara sebaran lumpur baru dan tingkat penurunan tanah yang terjadi

III. LOKASI STUDI

Lokasi studi terletak pada sekitar area semburan lumpur Porong dengan diamater dari pusat semburan kurang lebih 5 km yang meliputi wilayah Kecamatan Porong, Kecamatan Tanggulangin dan Kecamatan Jabon seperti yang tergambar dibawah:

Gambar 3.1. Lokasi studi di kecamatan Porong, Tanggulangin dan Jabon.

IV.METODOLOGI PELAKSANAAN STUDI

4.1 Pemantauan area sebaran lumpur menggunakan citra satelit multitemporal.

Gambar 4.1 Diagram alir pemrosesan citra untuk pemantauan sebaran lumpur.

4.2. Pemantauan penurunan tanah dengan metoda pengukuran GPS-Geodetik di area.

Dalam dinamika bumi, permukaan tanah akan selalu mengalami deformasi dengan factor-faktor penyebabnya yang berbagai macam. Perubahan permukaan tanah dapat diketahui dengan melakukan pengukuran ketinggian pada titik-titik kontrol yang dapat dilakukan secara periodik maupun kontinyu.

Deformasi vertical dapat menyebabkan naiknya permukaan tanah (*uplift*) atau turunnya permukaan tanah (*subsidence*). *Uplift* terjadi sebagai akibat pengaruh gaya dari dalam bumi atau gaya reaksi akibat adanya beban yang berpengaruh pada daerah sekitarnya. Subsidence atau turunnya permukaan tanah terjadi disebabkan oleh gerakan vertical kea rah bawah dimana massa di bawah permukaan tanah mengalami perubahan, seperti: ekstraksi minyak dan gas bumi. Ekstraksi air tanah, pembuatan terowongan bawah tanah dan factor-faktor lainnya yang

mempengaruhi. Gerakan vertical ke bawah pada permukaan tanah dapat juga terjadi akibat pengaruh beban pada permukaan natah dan proses kompaksi pada lapisan tanah.

Gerakan turunnya permukaan tanah dapat terjadi secara perlahan-lahan maupun secara tiba-tiba. Lokasinya dapat terjadi dimana saja dan pengaruhnya dapat mencangkup suatu wilayah denganluas m^2 hingga ribuan km^2.

Penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) atau disebut juga deformasi vertikal adalah perubahan konfigurasi permukaan tanah ke arah vertikal, dimana arah vertikal ditentukan oleh datum vertikal atau disebut juga bidang referensi tinggi [SULASDI (2000) dalam Leonard (2000)]. Deformasi vertikal ke arah bawah dari bidang referensi tinggi terjadi jika masa di bawah kerak bumi hilang atau hampa. Hilangnya massa di bawah kerak bumi dapat disebabkan oleh pengambilan mineral bumi atau air tanah yang berlebihan.

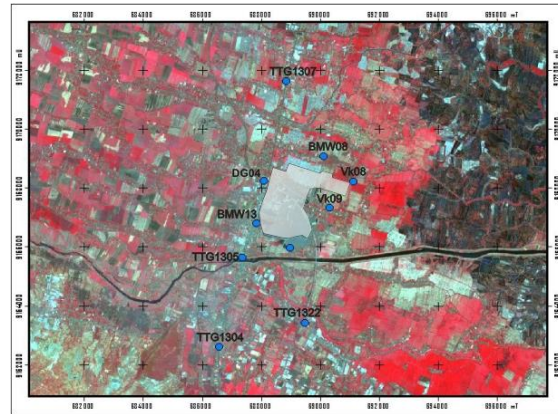
Dari penjelasan tersebut di atas, bahwa land subsidence dapat terjadi di lokasi semburan lumpur panas di Porong, Sidoarjo. Hal ini dikarenakan volume lumpur yang dikeluarkan dari dalam bumi cukup besar, dalam jangka waktu tertentu dan jika luaran lumpur tidak dapat di tutup maka sangat dimungkinkan terjadi land subsidence.

Akibat yang ditimbulkan dari land subsidence cukup besar terhadap infrastruktur di sekitarnya, seperti jaringan pipa gas/minyak bawah tanah, jalan raya, bangunan dan perumahan, jembatan, jaringan listrik, dan infrastruktur lainnya. Sehingga jika tidak dilakukan investigasi dan pemantauan lebih awal dan periodik, bahaya tersebut akan memakan korban dan kerugian yang sangat besar. Dari hal ini, diperlukan suatu system dan kegiatan pemantauan yang periodik untuk mengetahui gejala land subsidence dan melakukan perencanaan yang dianggap perlu dalam meminimalkan kerugian.

Global Positioning System (GPS) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan 3 dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca, kepad semua orang secara simultan.

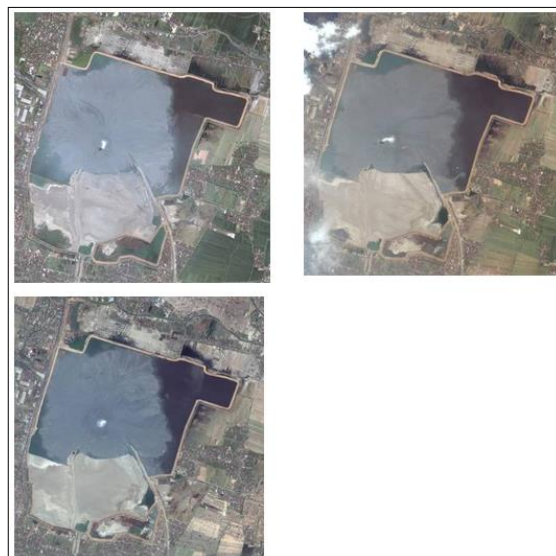
Pada dasarnya, konsep penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang diketahui koordinatnya. Posisi yang diberikan GPS adalah posisi tiga dimensi (X,Y,Z atau L, B, h) yang dinyatakan dalam Datum WGS (World Geodetic System) 1984.

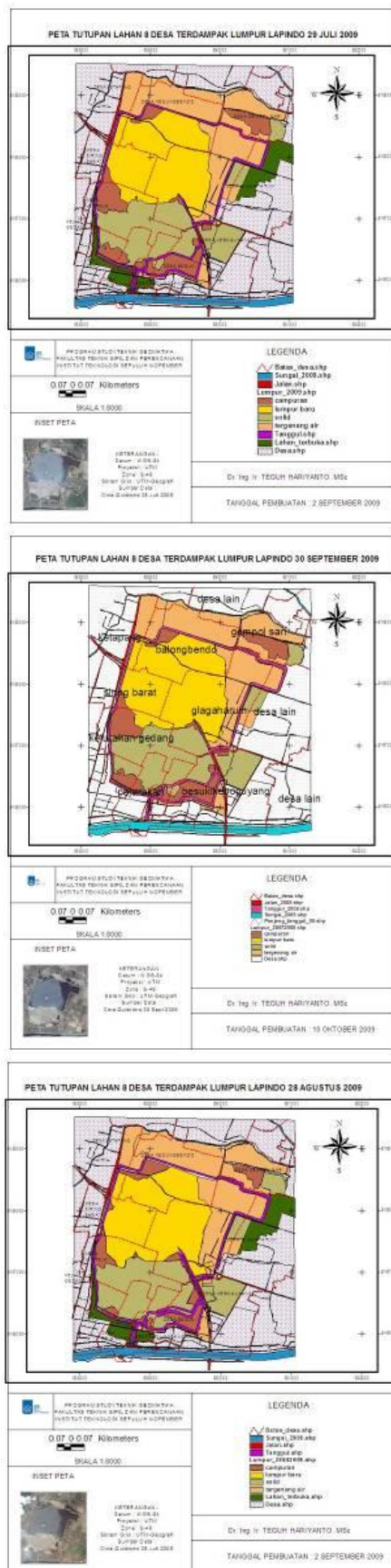
Dalam kaitannya dengan pemanfaatan GPS untuk aplikasi-aplikasi geodesi, *International GPS Service* (IGS) mempunyai peranan dan kontribusi yang sangat penting, karena menyediakana data GPS, informasi orbit GPS, serta data dan informasi pendukung penelitian geodetic dan geofisika lainnya.

Adapun sebaran titik yang digunakan dalam pengukuran GPS geodetik sebagai berikut:

Gambar 4.2 Sebaran titik pengamatan GPS-Geodetik untuk landsubsidence.

V. Hasil dan Pembahasan

5.1. Hasil pemantauan sebaran lumpur Porong Sidoarjo setelah tanggul cincin utama tenggelam.

Pada tahap pemantuan sebaran setelah tanggul cincin utama tenggelam menggunakan data citra satelit Ikonos pada bulan Juli, Agustus dan September 2009 dengan hasil komposit citra sebagai berikut:

Gambar 5.1. Hasil komposit citra satelit Ikonos area lumpur pada bulan Juli, Agustus dan September 2009. (sumber CRIPS 2009).

Setelah dilakukan pemrosesan citra dengan geometrik koreksi dan klasifikasi maka didapat hasil sebagai berikut:

Gambar 5.2. Hasil citra ikonos yang terklasifikasi pada bulan Juli,Agustus dan September 2009 dalam format SIG.

Dari hasil yang tersebut diatas maka didapat evaluasi adanya endapan lumpur baru (warna kuning) bagian barat dan utara dan berlangsung hanya pada sebagian kecil dari area yang tersedia didalam tanggul (56% dari keseluruhan tanggul yang tersedia), untuk lumpur yang telah mengeras berada pada wilayah bagian selatan tanggul sedangkan bagian timur berupa air dari endapan yang ada pada bagian utara dan barat.

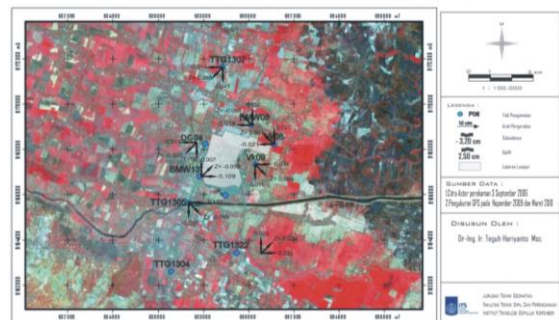
Dengan adanya kejadian ini maka wilayah tanggul sudah tidak bisa keseluruhan digunakan untuk mengalirkan lumpur yang baru keluar dari sumbernya.

Kemudian dilakukan plotting (Tabel 5.1) pada sebaran peta yang ada didapat hasil arah dan besar penurunan dan pergeseran dari masing masing titik yang telah diukur dengan menggunakan citra sebaran yang ada pada gambar 4.2.

Hasil yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Bagian utara titik (di area TTG-1307) hasil pengukuran cenderung mengalami kenaikan (uplift) yang memiliki harga 5 cm sd 10 cm.
2. Bagian tengah yang berada diwilayah berdekatan dengan tanggul telah mengalami penurunan (subsidence) di area titik DG-04, VK-08,BMW-13 yang memilki harga 16 cm sd 60 cm. Penurunan yang merata terjadi di area tanggul sebelah utara.
3. Bagian selatan yang berada diwilayah berdekatan dengan Kali Porong cenderung mangalami kenaikan di area titik TTG-1305,TTG-1304 dan TTG-1322 yang memiliki harga 5 cm sd 15 cm.

Data dari hasil pengkuran pada bulan Nopember 2009 digabungkan dengan hasil pengukuran pada bulan Maret 2010 maka didapat hasil sebagai berikut (Tabel 5.2).

PETA PERGERAKAN TANAH

Gambar 5.3. Peta sebaran pergerakan tanah tanggal 24 Nopember 2009 sampai dengan 4 Maret 2010.

Pada hasil ini didapat pergerakan tanah arah Z (mengalami penurunan) di titik DG-04 sebesar 0,503 m dengan disertai adanya penurunan yang bervariatif diwilayah sekitar BM tersebut, adapun area yang lainnya telah mengalami kenaikan yang terbesar terjadi di area timur pada VK-08 sebesar 0,661 meter.

Jika nilai nilai perbedaan pengamatan pada waktu tersebut digambarkan pada wilayah kontur atau garis garis yang menghubungkan nilai yang sama maka didapat hasil seperti Gambar 5.4:

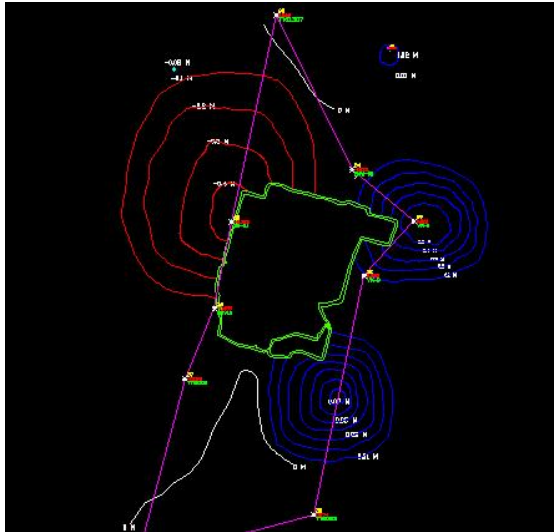
Tabel 5.1. Hasil pemantauan penurunan tanah dengan metoda GPS-Geodetik. Hasil hitungan pergesesar dari bulan Juli 2008, September 2009, Oktober 2009 , Nopember 2009 dan Maret 2010.

	Oktober 2009		Nopember 2009		ΔE	ΔN	besar vektor	sudut vektor (radian)	sdt vektor	ΔH
BMW 08	690098,644	9169071,316	690098,332	9169071,278	-0,312	-0,038	0,3143	1,44959839	263,0558697	0,1
BMW 13	687841,419	9166787,755	687841,716	9166787,778	0,297	0,023	0,2979	1,493509502	85,57179115	0,02
DG04	688116,919	9168211,856	688116,969	9168211,842	0,050	-0,014	0,0519	-1,297787616	105,6422469	-0,03
TTG 1304	686566,898	9162606,100	686567,717	9162605,957	0,819	-0,143	0,8314	-1,397935721	99,90418316	-0,05
TTG 1305	687353,390	9165632,442	687353,393	9165632,504	0,003	0,062	0,0621	0,048349386	2,770215783	-0,17
TTG 1307	688853,701	9171609,682	688853,710	9171609,683	0,009	0,001	0,0091	1,460139087	83,6598072	0,06
TTG 1322	689470,721	9163399,260	689470,711	9163399,229	-0,010	-0,031	0,0326	0,312042127	197,8786969	0,02
VK 08	691115,585	9168219,804	691115,842	9168219,939	0,257	0,135	0,2903	1,08712058	62,28742107	0,03
VK 09	690298,618	9167322,016	690298,628	9167322,043	0,010	0,027	0,0288	0,354705666	20,32313765	0,61

	September 2009		Oktober 2009		ΔE	ΔN	besar vektor	sudut vektor (radian)	SUDUT VEKTOR	ΔH
BMW 08	690098,4599	9169071,3057	690098,644	9169071,316	0,1841	0,0103	0,1844	1,514906742	86,7978	0,0569
BMW 13	687841,7015	9166787,7650	687841,419	9166787,755	-0,2825	-0,0100	0,2827	1,535412871	267,9727	-0,0467
DG04	688116,8703	9168211,8745	688116,919	9168211,856	0,0487	-0,0185	0,0521	-1,207756975	110,8006	0,0057
TTG 1304	686566,8894	9162606,0957	686566,898	9162606,100	0,0086	0,0043	0,0096	1,107148707	63,4349	-0,0359
TTG 1305	687353,3590	9165632,4827	687353,390	9165632,442	0,0310	-0,0407	0,0512	-0,650928652	142,7045	0,0165
TTG 1307	688853,7052	9171609,6934	688853,701	9171609,682	-0,0042	-0,0114	0,0121	0,352990406	200,2249	-0,0041
TTG 1322	689470,7204	9163399,2708	689470,721	9163399,260	0,0006	-0,0108	0,0108	-0,055498506	176,8202	0,0137
VK 08	691115,9487	9168219,9122	691115,585	9168219,804	-0,3637	-0,1082	0,3795	1,281636578	253,4324	-0,6322
VK 09	690298,6136	9167321,9976	690298,618	9167322,016	0,0044	0,0184	0,0189	0,234722606	13,4486	0,0006

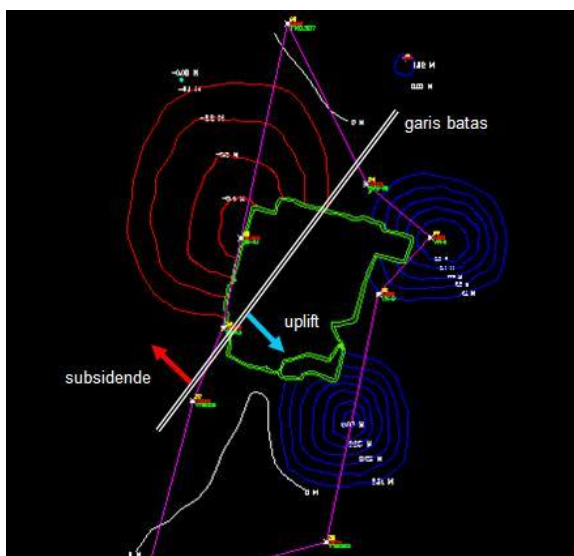
	Juni 2008		September 2009		ΔE	ΔN	besar vektor	sudut vektor (radian)	Sudut Vektor	ΔH
BMW 08	690098,5213	9169071,4634	690098,4599	9169071,3057	-0,0614	-0,1577	0,1692	0,371289036	201,2733	-0,096
BMW 13	687841,6181	9166787,6437	687841,7015	9166787,7650	0,0834	0,1213	0,1472	0,602322331	34,5105	0,038
DG04			688116,8703	9168211,8745			0,0000			
TTG 1304	686566,8890	9162606,0731	686566,8894	9162606,0957	0,0004	0,0226	0,0226	0,017697269	1,0140	0,022
TTG 1305	687353,4934	9165632,4029	687353,3590	9165632,4827	-0,1344	0,0798	0,1563	-1,034985086	120,6997	0,214
TTG 1307	688853,8240	9171609,7298	688853,7052	9171609,6934	-0,1188	-0,0364	0,1243	1,273480815	252,9651	0,082
TTG 1322	689470,7105	9163399,2399	689470,7204	9163399,2708	0,0099	0,0309	0,0324	0,310055183	17,7649	0,021
VK 08	691115,7805	9168219,9060	691115,9487	9168219,9122	0,1682	0,0062	0,1683	1,533952124	87,8890	-0,162
VK 09	690298,6460	9167322,0096	690298,6136	9167321,9976	-0,0324	-0,0120	0,0346	1,216090671	249,6769	0,02

Tabel 5.2. Data dari hasil pengkuran pada bulan Nopember 2009 digabungkan dengan hasil pengukuran pada bulan Maret 2010.

	4 MARET 2010			24 NOP 2009					
	X	**Y**	**Z**	**X**	**Y**	**Z**	**dX**	**dY**	**dZ**
BMPU 288	686566,89	9162606,12	43,801	686566,901	9162606,104	43,672	-0,009	0,02	0,129
VK-9	690298,61	9167322	32,207	690298,554	9167322,018	32,109	0,054	-0,015	0,098
TTG 1307	688853,69	9171609,64	32,87	688853,7	9171609,684	32,804	-0,014	-0,045	0,066
BMW-08	690098,46	9169071,33	31,711	690098,477	9169071,292	31,762	-0,018	0,037	-0,051
DG-04	688117,1	9168211,78	32,096	688117,109	9168211,934	32,599	-0,013	-0,158	-0,503
BMW13	687841,75	9166787,8	34,008	687841,644	9166787,796	34,067	0,109	0,007	-0,059
TTG1305	687353,52	9165632,46	39,374	687353,368	9165632,493	39,473	0,152	-0,037	-0,099
TTG1322	689470,76	9163399,29	35,488	689470,721	9163399,261	35,414	0,035	0,025	0,074
VK-8	691115,82	9168219,93	31,251	691115,836	9168219,901	30,59	-0,021	0,025	0,661
TB89	688852,15	9171613,91	32,625	KOSONG			0	0	0
BASE	690484,23	9189431,95	37,217	690484,229	9189431,951	37,217	0	0	0

Gambar 5.4 Peta sebaran kontur penurunan (garis merah) dan penaikan (biru)serta area batas lumpur (warna hijau) yang didapat padapengamatan GPS Geodetik 24 Nopember 2009 dan 4 Maret 2010.

Didasarkan pada interpolasi linier yang menghasilkan kontur besarnya penurunan dan kenaikan, pada Gambar 8 menunjukkan bahwa :

1. Untuk wilayah desa yang ada dibagian barat tanggul serta sebagian wilayah utara menunjukkan sebagian besar telah didominasi oleh adalah penurunan antara 0.5 meter hingga 0.1 meter pada jarak 2.5 km dari pinggir tanggul bagian barat, jika ditarik dari pusat semburan maka berjarak sekitar 3.5 km.

Untuk wilayah yang lainnya telah mengalami kenaikan (uplift) dengan radius 1.5 km dari pinggir tanggul dengan besaran 0,6 m sampai dengan 1 cm, Jika data penurunan tanah tersebut dilakukan prediksi untuk mengetahui batas wilayah yang mengalami penurunan dan penaikan sebagai berikut:

Gambar 5.5. Prediksi penurunan tanah untuk waktu yang akan datangatas dasar pengamatan sebelumnya.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Penggunaan citra satelit resolusi tinggi Ikonos dalam rangka mengetahui kondisi dan sebaran lumpur selama 3 bulan sesuai sehingga didapat hasil klasifikasi lumpur baru keluar dari semburan, lumpur mengendap bersama air, lumpur yang telah mengalami pemadatan (solid).
2. Hasil pemantuan distribusi sebaran lumpur yang baru keluar menggunakan citra satelit menunjukkan arah utara dan barat yang lebih dominan.
3. Pengamatan koordinat titik dengan sebaran tertentu menggunakan metoda GPS Geodetik telah menunjukkan besar dan arah penurunan yang maksimum terjadi di titik yang ada pada bagian utara dan barat di sekitar tanggul (radius 2-3 Km) dengan besaran maksimu 60 cm .
4. Berdasarkan hasil kedua kesimpulan yang tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa arah dari sebaran lumpur yang baru keluar dapat membuat terjadinya penurunan pada area disekitar lumpur tersebut sehingga dapat digunakan sebagai peringatan dini untuk memprediksi adanya bahaya penurunan yang disertai jebolnya tanggul, di wilayah desa Siring, Ketapang dan Gempolsari.

6.2. SARAN

Dalam rangka memprediksi untuk jangka waktu yang lama dikarenakan tidak adanya penentuan waktu berhentinya semburan lumpur Porong Sidoarjo maka pengamatan distribusi sebaran lumpur dan penurunan permukaan tanah masih diperlukan secara periodik dalam rangka memantau perubahan yang terjadi di permukaan tanah beserta bencana yang akan terjadi nantinya.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin ZH,Jones A,Kahar J,1995, Survey dengan GPS, PT Pradnya Paramita,Jakarta.

Abidin ZH, dkk,2006,Deformation Pattern of Mud Volcano Area in Porong Sidoarjo, Geodesy research division,FTSP-ITB Bandung.

Agung BC,Eko Y,Teguh Hr, 2006, Pemetaan area lumpur Porong Sidoarjo dengan foto udara format kecil, Lapindo-LPPM ITS Surabaya.

I.Nyoman S, Teguh Hr dkk,2008, Pengukuran penurunan tanah di luar area terdampak lumpur Porong Sidoarjo, Bappeprov Jatim.

I.Nyoman S,Anggrahini,Teguh Hr dkk,2008, Kajian Kelayakan Permukiman akibat semburan lumpur Porong Sidoarjo,Bappeprov Jatim-ITS Surabaya.

I.Putu AW, Amin W,Teguh Hr dkk,2008, Evaluation of Mud Flow Disaster Alternative in Sidoarjo, East Java , UNEP Jakarta.

Konecny G., 2003,GEOINFORMATION :Remote Sensing,Photogrametry,Gographic Information System, Taylor and Francis, London and New York.

Leonard,F.R,2000,Penentuan Kecepatan dan Percepatan Penurunan Muka Tanah Menggunakan Data Beda Tinggi Jaring Sipat Datar, TA Departemen Geodesi ITB, Bandung.

Noor Endah, Anggrahini,Teguh Hr,dkk,2007, Analisa Resiko Bencana Lumpur Porong Skala Lokal Sidoarjo dan Regional Jawa Timur, Kementrian Lingkungan Hidup-ITS Surabaya.

Teguh Hr, Yanto BS 2006, Pengukuran dan Pemetaan situasi bendung area Lumpur Porong Sidoarjo, Lapindo-LPPM ITS Surabaya.

Teguh Hr, Yanto BS, 2007,Penggunaan citra digital resolusi tinggi untuk monitoring sebaran dan perhitungan volume lumpur di Lokasi Semburan Lumpur PT.Lapindo Brantas Porong – Sidoarjo, LPPM ITS Surabaya.

Teguh Hr,Indrasurya BM,Anggrahini, 2007, Pemantauan Perkembangan Bencana Area Lumpur Lapindo Porong, alternatif pengaliran dan dampaknya, Seminar Pengelolaan Lumpur Sidoarjo LPPM-ITS.

26 ANALISA TRANSPORT SEDIMEN DAN PERUBAHAN MORFOLOGI KALI PORONG AKIBAT BUANGAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI), JAWA TIMUR

Weny.H.Sihombing , Suntoyo, dan M.Zikra
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: Weny_hamilton@yahoo.com

Abstrak –*Penelitian ini membahas pengaruh buangan Lusi terhadap transport sedimen dan perubahan morfologi Sungai Porong. Penelitian ini menggunakan software MIKE 21 dengan 2 buah modul, yaitu modul Hidrodinamika dan modul Mud Transport. Adapun data-data yang digunakan adalah Data batimetri sungai porong, debit sungai, debit buangan Lusi, konsentrasi sedimen dan data pasang surut. Perubahan Morfologi sungai porong ditinjau sepanjang KP 160 hingga KP 255. Berdasarkan hasil simulasi Hidrodinamika diketahui Karakteristik aliran sungai bergerak dari kiri ke kanan dengan kecepatan arus rata-rata 0.5 m/s . Perubahan dasar sungai cukup dinamis dimana dipengaruhi oleh debit sungai dan pasang surut. KP 235, 240, 245,250 dan 255 sering terjadi pendangkalan atau melebih dari desain dasar sungai.*

Katakunci: *Transport sedimen, morfologi, Lumpur sidoarjo, Lusi, MIKE 21*

I. PENDAHULUAN

Lumpur Sidoarjo atau yang selanjutnya disebut Lusi, merupakan fenomena keluarnya lumpur panas dari muka bumi yang terjadi di Sidoarjo, Jawa Timur yang bermula pada tanggal 29 mei 2006. Kejadian ini telah menyita banyak perhatian, telah banyak studi dilakukan terkait fenomena alam ini, baik dari dalam negeri maupun luar negeri (i.e Mazzini et al., 2007; Herawati, 2007; istiadi et al., 2009; McMichael, 2009; Rudolph at al., 2011; Roberts et al., 2011). Menjajaki tahun ke -7, semburan lumpur sidoarjo juga belum menunjukkan tanda-tanda akan berhenti. Diprediksikan 50% kemungkinan semburan lumpur akan berhenti pada < 41 tahun dan 33% kemungkian akan berhenti pada lebih dari 84 tahun. (Rudolph at al., 2011).

Dalam upaya menanggulangi luapan lumpur sidoarjo, pada tanggal 25 Oktober 2007 ditetapkan rencana induk penanggulangan sidoarjo, yang salah satu rencananya adalah mengalirkan lumpur ke laut melalui kali porong. Terjadi pro-kontra terkait rencana pengaliran melalui ke kali porong ini. Pihak yang kontra mengkhawatiran akan adanya banjir akibat pendangkalan kali porong. Penelitian ini akan melakukan studi terkait sediment transport dan perubahan morfologi kali porong dengan menggunakan MIKE 21 DHI.

Diterbitkan pada Seminar Nasional Pascasarjana XI – ITS, Surabaya 15 Agustus 2013

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 GAMBARAN UMUM DAERAH STUDI

Kali Porong pada awalnya berfungsi sebagai kanal banjir atau floodway DAS Brantas, dimana seluruh aliran banjir dari Sungai Kali Brantas dialirkan ke Kali Porong dengan mengoperasikan pintu air yang ada di Bendung Lengkong Baru dengan Tujuan untuk melindungi Kota Surabaya dari Banjir. Namun dengan terjadinya Luapan Lumpur Sidoarjo pada 29 Mei 2006 dan .November 2006, maka fungsi Kali Porong bertambah, selain menjadi floodway, Kali Porong juga berfungsi sebagai sarana pembuangan lumpur menuju laut.

Pada waktu Bendung Lengkong dibangun, kapasitas Kali Porong masih terbatas sehingga pada tahun 1886 dilaksanakan pekerjaan ‘Perbaikan sungai dan Pengamanan Banjir Kali Brantas Hilir” atau dahulu dikenal “Porong Werken”, dimana salah satu kegiatan pekerjaan tersebut berupa peningkatan kapasitas kali Porong sesuai dengan debit banjir rencana Kali Brantas saat itu, yaitu sebesar 1.300 m/s. Kemudian pada Tahun 1971 hingga 1977 dilakukan ‘Porong River Improvement Project’ dan ‘Porong River Rehabilitation Project’ di tahun 1989 hingga 1992. Salah satu Kegiatannya berupa rehabilitasi Bendung Lengkong Baru dan normalisasi sungai. (BAPEL-BPLS, 2011)

Daerah studi mencakup dari KP 160 – KP 255 atau secara geografis dari 688550.4828 mE,9165735.2945 mN - 705262.2228 mE,9163941.3155 mN.

Gambar 1. Daerah Studi.

2.2 Hidrodinamika

Tujuan simulasi hidrodinamika ini adalah untuk mengetahui pola atau sirkulasi arus, serta kecepatan dan arah arus yang akan berguna dalam penentuan sifat dinamika perairan lokal dan juga perubahan elevasi muka air. Hasil (output) dari simulasi hidrodinamika ini nantinya akan menjadi input dalam pemodelan sediment transport. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial u^2}{\partial x}+\frac{\partial vu}{\partial y}+\frac{\partial wu}{\partial z}=fv-g\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \rho_a}{\partial x}-\frac{g}{\rho_0}$$

$$\int_z^\eta \frac{\partial p}{\partial x}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right)+F_u+\frac{\partial}{\partial z}\left(V_t\frac{\partial u}{\partial z}\right)+u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial v^2}{\partial x}+\frac{\partial uv}{\partial y}+\frac{\partial wv}{\partial z}=fu-g\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \rho_a}{\partial y}-\frac{g}{\rho_0}$$

$$\int_z^\eta \frac{\partial p}{\partial y}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right)+F_v+\frac{\partial}{\partial z}\left(V_t\frac{\partial v}{\partial z}\right)+v_s S$$

Dimana t adalah waktu; x,y dan z adalah koordinat kartesian; η adalah elevasi permukaan; d merupakan SWL; h=η +d adalah total kedalaman air; u,v,dan w adalah komponen kecepatan pada arah x,y danz; f=2 $\Omega sin\phi$ adalah parameter coriolis;g adalah percepatan gravitasi; ρ adalah densitas air; s_{xx}, s_{xy}, s_{yx} adalah komponen dari tegangan dari stress tensor radiation; V_t adalah vertical turbulrnt visikositas atau visikositas eddy; p_a adalah tekanan atmosfir ; ρ_0 adalah reference density dari air.Dimana S adalah magnitude dari discharge akibat point source. (Mike, 2007).

2.3 Transport Sedimen

Transport sediment menggunakan persamaan adveksi-dispersi:

$$\frac{\partial c}{\partial t}+u\frac{\partial c}{\partial x}+v\frac{\partial c}{\partial x}=\frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial x}\left(hD_x\frac{\partial c}{\partial x}\right)+\frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial y}\left(hD_y\frac{\partial c}{\partial y}\right)+Q_L C_L\frac{1}{h}-S$$

Dimana c adalah = konsentrasi rata-rata; u,v adalah kecepatan aliran rata-rata; $D_x D_y$ adalah koefisien dispersi (m^2/s); h adalah kedalaman (m); S adalah masa erosi ($kgm^{-3}s^1$) Q_L adalah sumber discharge per horizontal unit area dan C_L adalah konsentrasi dari sumber sicharge ($kg.m^{-3}$) (MIKE, 2007).

II. 2.4 Perubahan Morfologi

Sebaran konsentrasi sedimen melayang yang terbawa oleh arus pasang surut akan terendapkan jika kecepatan arus dibawah kemampuannya untuk membawa transpor sedimen. Pengendapan yang terjadi selama kurun waktu tertentu akan menyebabkan pendangkalan. Morfologi sungai menyangkut karakteristik fisik atau bentuk alur sungai meliputi (Budihardja, 2008) :

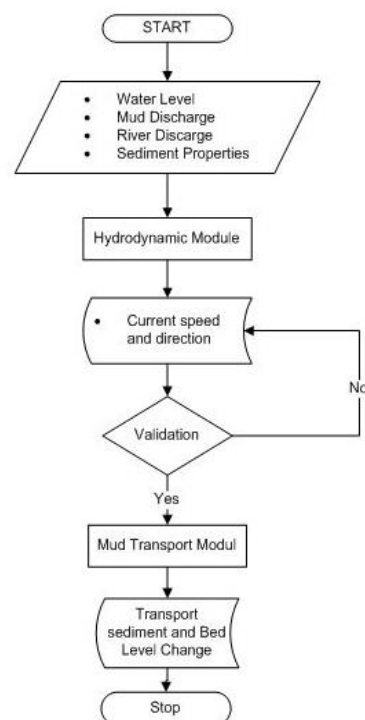
- Konfigurasi alur sungai (plan-form), yaitu tentang sungai yang lurus, bermeander, braided atau anastomosing.
- Geometri alur sungai, yaitu mengenai tampang melintang dan memanjang, atau emnyangkut perubahan dasar sungai.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi morfologi sungai:

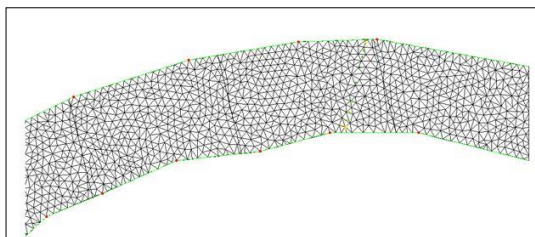
- Debit sedimen dan debit air sungai
- Tampang melintang dan memanjang
- Resistensi dasar/tebing sungai
- Vegetasi dialur sungai
- Temperatur, kekentalan dan kecepatan air sungai
- Kondisi geologi
- Kegiatan manusia, dll.

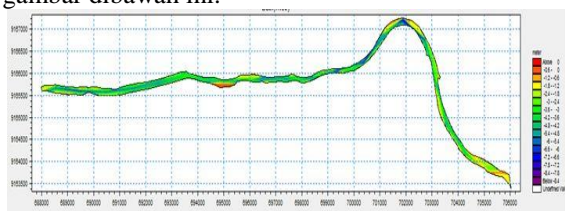
III.METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan Software Mike 21 dengan 2 buah modul, yaitu Hydrodynamic module untuk simulasi hidrodinamika, dan modul Mud transport untuk simulasi sediment transport. Dalam penelitian ini, sediment di sepanjang sungai diasumsikan seragam kohesiv dan pembuangan lumpur sidoarjo dipusatkan pada satu outlet di Kp 160. Adapun Diagram alir pengerjaan penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1.

Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Penelitian.

3.2 Pemodelan Batimetri

Pemodelan batimetri daerah studi menggunakan MIKE Zero Mesh Generator dengan metode pendekatan elemen hingga Gambar 3.2 menunjukkan contoh pembagian meshing pada model sungai porong, dimana garis hijau yang menghubungkan titik-titik merah menunjukkan batas daratan, sedangkan titik-titik yang berada didalam meshing (hijau, kuning, cokelat, dll) adalah sccater data batimetri yang menunjukkan kedalaman sungai.

Gambar 3.2. Contoh meshing Batimetri Porong.

Dari pembagian meshing diatas, kemudian dilakukan interpolasi sccater data. Maka didapatkan model batimetri 2D seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.

Gambar 3.3. Model Batimeri.

3.3 Simulasi Hidrodinamika

Dalam melakukan simulasi hidrodinamika, dilakukan pendefinisian kondisi batas (Boundary Condition) pada model. Kondisi batas dimaksudkan untuk memberikan input-an pada setiap batas model seperti yang terlihat pada Tabel 4.1 sedangkan untuk lokasi batas pada model dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 3.1. Inputan pad kondisi Batas.

Boundary Condition	Data
Code 2	River Discharge
Code 3	Water Level
Code 4	Water level

Selain pendefinisian kondisi batas, Model numerik Hydrodynamic juga membutuhkan beberapa parameter sebagai kontrol dalam analisis, diantaranya adalah sebagai berikut :

-Time step interval : 1jam
-Number of time step : 50
-First Time Step : 1
-Temperatur : 25 ºC
-Initial water surface elevation : 1.8 m
-Eddy viscosity :Pascal-sec
-Roughness coefficient. : 0.26667
-Density : Barotropic
-Bed resistance : 30

3.4 Sediment transport dan Perubahan morfologi

Hasil dari simulasi Hidrodinamika nantinya akan menjadi Input-an dalam Simulasi sediment Transport. Simulasi ini menggunkan Modul Mud transport MIKE 21 dengan beberapa parameter sebagai berikut :

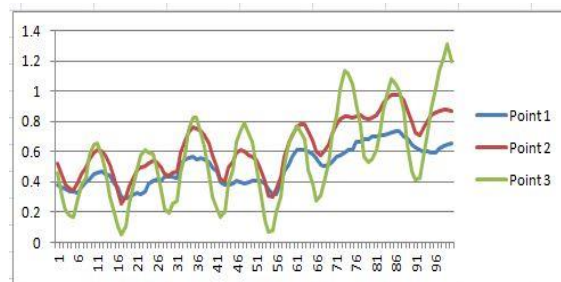
-Time step : 1jam
-Number of time step : 360jam
-Diffusi Coefficient : 10 m^2/s
-Critical Deposition Shear Stress : 0.2 N/m^2
-Critical Erotion Shear Stress : 0.25 N/m^2

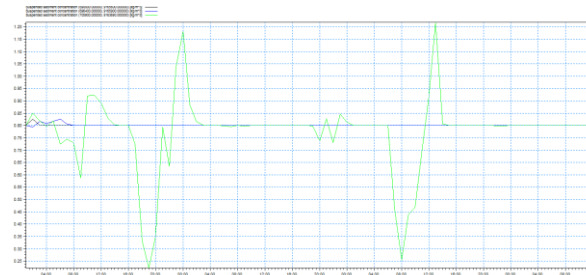
IV.PEMBAHASAN HASIL

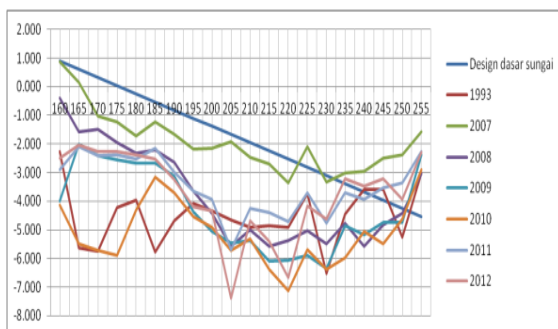
Aliran Sungai Porong dipengaruhi oleh debit sungai dari hulu dan pasang surut air laut disebelah hilir. Adapun debit sungai yang mengalir adalah debit sungai yang dihitung dari AWLR yang besarnya tidak konstan setiap harinya, begitu pula dengan pasang surut di hilir, oleh karenanya hidrolika sungai Porong termasuk aliran unsteady state. Jenis pasang surut di Porong termasuk jenis mixed semidiurnal, yaitu tipe pasang surut condong ke pasang surut harian ganda, dimana dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.Dengan angka Formzhal sebesar 0.89. Adapun komponen pasang surut Porong dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1.Komponen pasang Surut

	So	M2	S2	K1	O1	N2	K2	P1	M4	MS4
A (m)	1.801	0.59	0.29	0.46	0.28	0.16	0.06	0.14	0	0
Fase (^{0})		42.61	14.2	-34.02	-41.35	53.18	17.36	73.35	36.4	-18.7

Dari hasil simulasi hidrodinamika didapatkan grafik arus pada 3 titik yang di tinjau, yaitu :Point 1 (hilir) : 690000 mE 9165600 mN;-Point2(Badan sungai): 696400 mE 9165900 mN; Point 3 (Hulu) :705900 mE 9163690 mN.

Gambar 4.1. Fluktuasi kecepatan arus pada 3 titik tinjauan.

Dan berdasarkan kecepatan arus diatas didapatkan konsentrasi sedimen seperti gambar 7 dibawah ini:

Gambar 4.2. Konsentrasi suspended sedimen di 3 titik tinjauan.

Berdasarkan data penampang memanjang sungai dari KP 160 -255 sepanjang tahun dapat diketahui perubahan morfologinya. Berdasarkan gambar 8. dapat diketahui bahwa pada bulan desember 2007, terjadi pendangkalan pada KP 225, 235, 240, 245, 250 dan 255, hal ini diakibatkan oleh pengendapan lumpur, namun pada januari 2008, pendangkalan di KP 225, 235, 240, 245, 250 sudah teratasi, hanya saja pada KP 255, elevasinya masih melebihi elevasi design sungai. Pada Desember 2009 dan 2010 juga terjadi pendangkalan di KP 255. Namun pada Desember 2011 pendangkalan bertambah di KP 245, 250 dan 255 dan di bulan Desember tahun 2012 pendangkalan bertambah di Kp 235. Berdasarkan keterangan diatas, dapat diketahui bahwa KP 235, 240, 245,250 dan 255 merupakan daerah yang rawan akan pendangkalan, hal ini dikarenakan lokasi Kp yang terletak di dekat hulu sungai, dimana jika debit yang mengalir ke sungai porong cukup kecil, maka sungai porong tidak mampu mengalirkan sedimen lusi dan berakibat tertumpuk didaerah didekat muara.

Gambar 4.3. Penampang melintang KP 160-255 dalam beberapa tahun.

V. KESIMPULAN

Besarnya arus rata-rata sebesar 0,5 m/s yang bergerak dari kiri ke kanan. Pengaliran lumpur menyebabkan dinamisasi perubahan elevasi dasar sungai, khususnya pada KP 235,240,245, 250 dan 255.

VI. PENGHARGAAN

Penulis ucapkan terimakasih kepada Pak sugiarto dan Pak Sugeng BPLS yang telah banyak membantu dalam hal kelengkapan data.

VIII.DAFTAR PUSTAKA

Bapel-BPLS, Peranan kali porong dalam mengalirkan lumpur sidoarjo ke laut, oktober 2011.

Budihardja darjanta, Kajian perubahan morfologi sungai sehubungan dengan gagasan dibuatnya dam lepas pantai (DLP) Kota Semarang, Vol.5.No.3. Desember 2008

Herawati, Niniek., 2007, Analisa Risiko Lingkungan Aliran Air Lumpur Lapindo ke Badan Air. Universitas Diponegoro. Semarang.

Istiadi, B., Pramono, C.H., Sumintadireja, P., Alam, S.2009. Modeling study of growth and potential geohazard for lusi mud volcanoe:East Java, Indonesia. Mar., Pet, Geology 26(9). 1724-1739

Mazzini, A., Svensen, H.Akhmanov, G.Aloisi, G.,Planke. S., Malthe-sorensen, A., Istadi, B.2007. Triggering and dynamic evolution of lusi ,ud volcanoe, Indonesia. Earth Planetary Sci Letter, 261, 375-388

McMichael, Heat. The Lapindo Mudflow Disaster; Environmental, Infrastructure and Economic Impact. Bulletin of Indonesian Economic Studies Vol. 45 No 1. 2009. Pp 73-83

Roberts, Katie S., Davies, Richard J., Stewart, Simon A., Tingay, Mark., Structural Control on Mud Volcano Vent Distribution; examples from Azerbaij and Lusi, east java.Jurnal of the geological society, London vol.168 pp.1013-1030.2011

Rudolph, Maxwell L., Karlstorm, Leif., Manga, Michael. 2011. A prediction of the longevity of the lusi mud eruption, Indonesia. Elsevier. Earth and planetary Science letter, 308, 124-130

27

ANALISA PERUBAHAN MORFOLOGI MUARA PORONG AKIBAT SEDIMENTASI LUMPUR SIDOARJO, JAWA TIMUR

Liyani, ST [1] dan Suntoyo, ST, M.Eng, PhD[2]
Teknik Kelautan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: Liyani11@mhs.na.its.ac.id

Abstrak – *Bencana ekologis nasional semburan lumpur panas telah terjadi di daerah Sidoarjo Indonesia (dikenal dengan Lusi, Lumpur Sidoarjo) pada tanggal 29 Mei 2006. Prakiraan volume semburan Lusi antara 50.000 – 120.000 m^3/hari.Muara adalah bagian hilir sungai yang langsung berhubungan dengan laut, berfungsi sebagai pengeluaran air sungai. Sedimen yang terakumulasi dari sungai tersebut akan menyebabkan pendangkalan di daerah muara. Muara Porong yang terletak di Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur merupakan muara dari Sungai Porong yang berasal dari percabangan sungai. Akibat pembuangan Lusi ke Sungai Porong terjadi transpor sedimen yang besar menuju muara Porong.*

Pada studi ini digunakan model numerik hidrodinamika menggunakan MIKE 21 yang dikembangkan oleh DHI Water & Environment untuk mensimulasikan pola sirkulasi arus. Simulasi dilakukan dengan skenario pasut, discharge sungai dan angin sebagai pembangkit. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dalam rentang waktu simulasi,kecepatan rata-rata sirkulasi arus sebesar 0.3 m/s. Sementara pola sebaran sedimen hasil simulasi menunjukkan sedimen yang dibawa sungai ke muara cukup besar. Konsentrasi sedimen maksimum sebesar 0.004257 kg/m^3 dan konsentrasi sedimen terendah sebesar 0.000219 kg/m^3. Perubahan morfologi dasar muara tidak begitu signifikan dikarenakan dalamnya perairan dan sedimen yang terbawa merupakan suspended sedimen.

Katakunci:*lumpur sidoarjo, MIKE 21, muara, sedimentasi.*

I. PENDAHULUAN

Bencana ekologis semburan lumpur panas yang terjadi pada tanggal 29 Mei 2006 di Sidoarjo, Jawa Timur telah menutupi sekitar 250 hektar tanah. Sedimen yang dialirkan ke sungai Porong terbawa hingga ke muara Porong sehingga terjadi sedimentasi. Muara sungai adalah bagian hilir sungai yang langsung berhubungan dengan laut, berfungsi sebagai pengeluaran air sungai (Triatmodjo, 1999). Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui pola sebaran aliran akibat adanya semburan Lusi di kawasan muara Porong.

Pemodelan dengan menggunakan software MIKE 21 dijadikan dasar untuk mengetahui kondisi tersebut. MIKE 21 merupakan software analisis numerik yang digunakan untuk menganalisis kondisi hidodinamika sungai dan pantai, termasuk muara. Dalam makalah ini, dibatasi lokasi penelitian adalah kawasan muara Porong.

Batasan dalam pemodelan numerik 2D ini, sedimen yang terlarut adalah berupa pasir sesuai dengan hasil sampel sedimen yang telah diambil di lapangan dan hasil analisa tanah di laboratorium rekayasa dasar laut dan bawah air pada tanggal 5 Mei 2013. Selanjutnya debit sungai yang menuju muara dalam model merupakan data sekunder dari BPLS.

Seminar Nasional Pascasarjana XIII – ITS, Surabaya 15 Agustus 2013 ISBN No.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terkait semburan lumpur panas di daerah Sidoarjo Indonesia (dikenal dengan Lusi, Lumpur Sidoarjo) yang terjadi pada tanggal 29 Mei 2006 telah banyak dikaji. Baik penelitian di pusat semburan Lusi, di Sungai Porong maupun di Estuari Porong dan pantai di sekitarnya. Seperti yang telah ditunjukkan oleh Mazzini et al. 2007, semburan Lusi tersebut diperkirakan mendekati 104 –105 m^3/hari. Proses kemunculan dan perkembangan semburan Lusi juga telah banyak dikaji oleh banyak peneliti (e.g. Istadi et al. 2009, Mazzini et al. 2007, Davies et al. 2007). Dan baru-baru ini Rudolph et al. 2011 mengembangkan model mekanis untuk semburan Lusi yang menghubungkan antara pemindahan lumpur ke permukaan melalui saluran tertutup dengan evolusi sumber lumpur yang bisa memprediksi lama umur semburan Lusi.

Penelitian yang dilakukan di Estuari (muara) Porong kebanyakan mengkaji tentang sifat-sifat kimia dan biota yang berhabitat di estuari tersebut. Masih sedikit penelitian yang mengkaji tentang perubahan morfologinya. Pada Desember 2010, Pahlevi dan Wiweka melakukan penelitian analisa sedimentasi di

muara Sungai Porong akibat pembuangan Lumpur Lapindo menggunakan citra satelit Aster. Sementara di kawasan pesisir, Wibowo (2011) menyatakan bahwa terjadi proses sedimentasi di sepanjang garis pantai pesisir Porong, khususnya di Delta Porong yang mengakibatkan terbentuknya daerah-daerah akresi. Dan selama kurun waktu 9 tahun daerah-daerah akresi yang terbentuk secara keseluruhan seluas ± 1.260 km^2.

III.METODE

3.1 Deskripsi Model

Model numerik yang menggunakan software MIKE 21 2D akan memodelkan kondisi pergerakan sedimen di muara Porong berdasarkan kondisi hidrodinamika aliran.

3.2 Model Hidrodinamika

Simulasi model hidrodinamika dilakukan untuk mendapatkan gambaran kondisi sebaran sedimen yang terjadi. Adapun persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Persamaan momentum pada arah x dan y:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega v \sin\varphi + F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u \sin\varphi + F_y$$

Dimana ζ adalah elevasi muka air, x dan y adalah koordinat cartesian, u dan v adalah kecepatan dalam arah –x dan –y. Kemudian Fx dan Fy adalah gaya dalam arah –x dan –y, p adalah takanan, ρ massa jenis, g adalah percepatan gravitasi dan φ merupakan lintang dari gaya coriolis.

3.3 Desain Model

Data input untuk simulasi ini terdiri dari batimetri, tinggi muka air di empat boundary (Gambar 1), data angin dan data sedimen (pasir).

Data batimetri merupakan data sekunder yang didapatkan dari BPLS (2009). Simulasi model dilakukan selama tujuh hari (168 jam).

Untuk lebih jelasnya, batasan model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.1. Batasan Model.

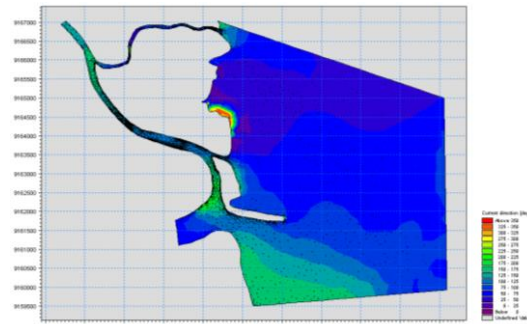
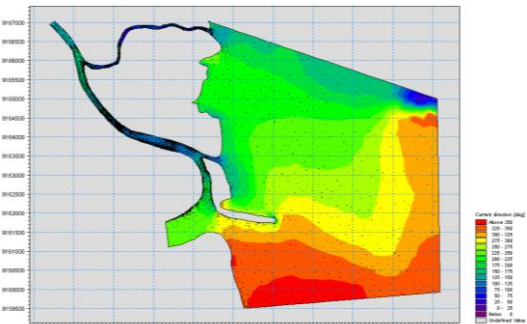
No	Parameter	Nilai
1	Elevasi muka air	Digunakan di empat boundary
2	Debit	Bervariasi selama bulan Agustus 2009
3	Grain size sedimen	0.4 mm

3.4 Penyebaran Sedimen

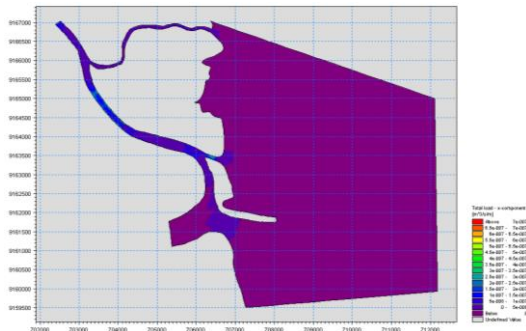
Material pada Daerah Aliran Sungai (DAS) akan terbawa bersamaan debit aliran menuju muara sungai. Kondisi muara sungai umumnya dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu debit sungai, gelombang dan pasang surut. Ketiga faktor tersebut bekerja secara simultan, tetapi biasanya salah satu faktor memiliki pengaruh lebih dominan dari yang lainnya. Debit sungai memberi pengaruh dominan pada sungai besar yang bermuara ke laut yang tenang (triatmojo, 1999). Pengaruh elevasi dan oseanografi menyebabkan arus pada muara sungai relatif tenang, sehingga sedimen mengalami sedimentasi. Pola distribusi sedimen tersebut dipengaruhi oleh ketiga faktor di atas.

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

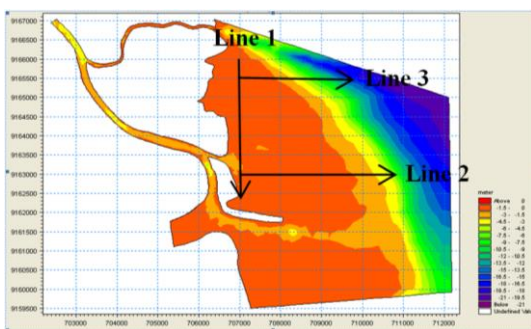
III. 4.1 Pola Arus

Simulasi hidrodinamika menghasilkan gambaran yang cukup jelas akan kondisi pola arus. Kecepatan arus hasil simulasi cukup besar, yakni rata-rata sebesar 0.3 m/s. Hasil simulasi menunjukkan arah arus tidak selalu dari sungai menuju muara. Pada saat kondisi pasang, arah arus berbalik dari muara menuju sungai (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2). Ini berarti sebagian air dari muara masuk ke daerah sungai.

Gambar 4.1. Pola Arus pada Kondisi Surut Terendah.

Gambar 4.2. Pola Arus pada Kondisi Pasang Tertinggi.

4.2 Pola Penyebaran Sedimen

Hasil simulasi menunjukkan pola sebaran sedimen memiliki konsentrasi yang cukup tinggi mengingat besarnya debit air yang mengalir pada sungai porong cukup kuat untuk membawa sedimen ke arah muara. Konsentrasi sedimen maksimum sebesar 0.004257 kg/m^3 dan konsentrasi sedimen terendah sebesar 0.000219 kg/m^3.

Gambar 4.3. Pola Penyebaran Sedimen.

4.3 Perubahan Morfologi

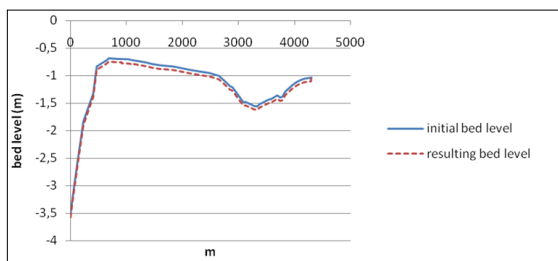
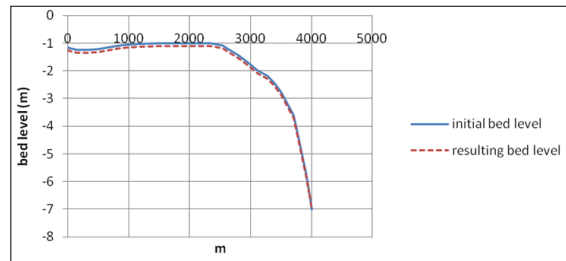
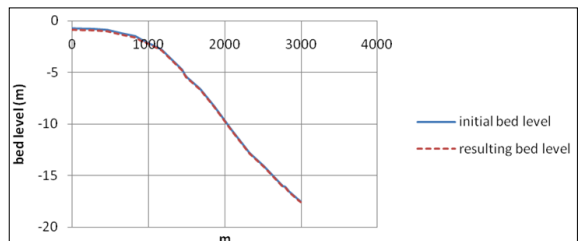
Dalam pemodelan dibuat tiga garis yang dianalisa perubahan morfologi dasarnya seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4.4.

Gambar 4.4. Posisi Garis Analisa Perubahan Morfologi Dasar Muara.

Definisi garis diberikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Garis Pemodelan dari Output.

Lines	Start	End
Line 1	(707000, 9166500)	(707000, 9162200)
Line 2	(707000, 9162500)	(711000, 9162500)
Line 3	(707000, 9165500)	(710000, 9165500)

Perubahan bed level (dasar) sepanjang Line 1, Line 2 dan Line 3 yang ditunjukkan model diberikan pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.

Bisa dilihat dari gambar bahwa bed level tidak mengalami perubahan secara signifikan.

Gambar 4.5. Bed Level sepanjang Line 1 sebelum dan sesudah simulasi.

Gambar 4.6. Bed Level sepanjang Line 2 sebelum dan sesudah simulasi.

Gambar 4.7. Bed Level sepanjang Line 3 sebelum dan sesudah simulasi.

V. KESIMPULAN

Pemodelan numerik hidrodinamika menggunakan MIKE 21 menghasilkan simulasi pola sirkulasi arus dengan kecepatan rata-rata sebesar 0.3 m/s. Sementara pola sebaran sedimen hasil simulasi menunjukkan sedimen yang dibawa sungai ke muara cukup besar. Konsentrasi sedimen maksimum sebesar 0.004257 kg/m^3 dan konsentrasi sedimen terendah sebesar 0.000219 kg/m^3. Perubahan morfologi dasar muara tidak begitu signifikan dikarenakan dalamnya perairan dan sedimen yang terbawa merupakan suspended sedimen.

VI. PENGHARGAAN

Penulis pertama mengucapkan terima kasih kepada Ibu dan kakak atas semua doa, dukungan, nasehat dan kasih sayang yang telah diberikan, kepada Bapak Suntoyo,ST, M.Eng, Ph.D atas semua bimbingan, arahan, masukan yang telah diberikan, ITS yang telah memberikan beasiswa kepada penulis, dosen-dosen dan staf karyawan jurusan Teknik Kelautan ITS, teman-teman yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, atas persahabatan yang memacu semangat untuk bertemu di kesuksesan, dan kepada semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Semoga Allah selalu menjaga kita semua.

VII. PUSTAKA

Davies, R.J., Swarbrick, R.E., Evan, R.J., Huuse, M. 2007. *Birth of a mud volcano:East Java*, 29 May 2006. GSA Today 17, 4-9.

Istadi, B., Pramono, C.H., Sumintadireja, P., Alam, S. 2009. *Modeling study of growth and potential geohazard for LUSI mud volcano: East Java, Indonesia.* Mar., Pet, Geology 26(9), 1724-1739

Mazzini, A., Svensen, H. Akhmanov, G. Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Sorensen, A., Istadi, B. 2007. *Trigering and Dynamic evolution of Lusi mud*

volcano, Indonesia. Earth Planetary Sci Letter, 261, 375-388.

Pahlevi, A.M., Wiweka. 2010. *Analisa Sedimentasi di Muara KaliI Porong Akibat Pembuangan Lumpur Lapindo Menggunakan Data Citra Satelit ASTER*. Jurnal Ilmiah Geomatika Vol. 16 No. 2.

Rudolph, M.L., Karlstrom, L. And Manga, M. 2011. *A prediction of the longevity of the Lusi mud eruption, Indonesia*. Earth Planetary Science Letters, 308, 124-130.

Triatmodjo, B. (1999), *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.

28

SIDOARJO MUD:

A Potential Cement Replacement Material

M.F. Nuruddin[1], R. Bayuaji[1,2], M.B. Masilamani[1],T.R. Biyanto[1,2]
[1]Universiti Teknologi PETRONAS, Perak, Malaysia
[2]Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
Email: -

Abstrak – *This paper presents an experimental and analytical research conducted to study the properties of mortar when treated Sidoarjo mud was added into the mix replacing partially the cement content. The replacements were done at 0, 5, 10, 15 and 20 %. Compression, tensile, porosity and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) tests were conducted to evaluate the effect of Sidoarjo mud in mortar. Analyses on the mud were also conducted through X-ray diffraction (XRD), X-ray Fluorescence (XRF), and scanning electron microscope with an energy dispersive X-ray analysis system (SEM-EDX). The results showed that the mud could be used as a cementitious material with optimum ordinary Portland cement (OPC) replacement at 10%.*
Keywords : *Sidoarjo mud, mortar, cement replacement material.*

I. INTRODUCTION

Sidoarjo mud has become a major issue when it surfaced from the bowels of the earth and impacted not only to the environment but also to the people at the vicinity. Observations collected indicated that the 27th May 2006 earthquake might have triggered [1] the eruption in Porong, Sidoarjo. Since 29th May 2006 the mud flows out continuously and spreads over the surrounding area. It has now covered more than 400 Ha of productive land and has completely immersed many villages.

The efforts to explore the preliminary finding [2] of the Sidoarjo mud and its potential use in geopolymer concrete have been conducted [3].

By and large improvement of concrete durability [4] and strength are the criteria in focus by many researchers. A large amount of research has been carried out to study both the durability and strength of concrete to obtain high performance concrete.

- One of the basic aspects of the production of high strength concrete is the use of supplementary cementing material. Due to growing environmental concerns, the need to conserve energy and resources considerable efforts have been made worldwide to utilize local natural waste.

A study that examines the possibility of utilizing [5] the mud with the purpose of reducing the use of cement and mitigating the social impact of the mud in the environment [6-8] is a commendable effort. The mud has degree matrix elements similar to pozzolan chemical compositions. Its natural characteristic, that contains SiO_2 element, can be categorized as a cement replacement material. This is due to their capacity to react with calcium hydroxide (CH) [9] produced during the hydration of Portland cement. It is well known that the compounds formed during this pozzolanic reaction enhance concrete micro structure.

To produce an extremely good concrete the properties such as strength, compressibility, impermeability and resistibility must be taken into consideration. The aim of the study is to establish whether Sidoarjo mud known as hot mud from Jawa Timur, Indonesia, can be used as a supplementary cementitious material for concrete.

II. Experimental Detail

Figure 1 depicts the experiment conducted in this research that includes mud treatment, preliminary experiment, mix proportion and hardened concrete test.

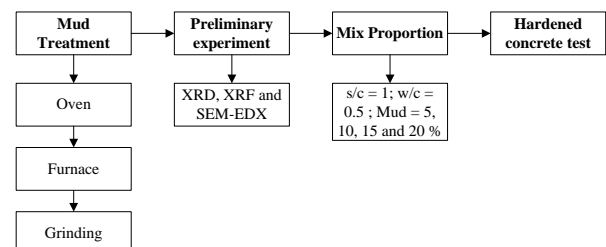



Figure 1. Experimental details.

In this work, the solid mud was obtained from Porong, Sidoarjo, Indonesia. Fresh mud was heated up at 105 °C for 24 hours to remove the water content so that when it was burnt it would not produce large amount of smoke. In order to acquire improved quality pozzolanic powder, the mud was burnt until 600°C for

one hour duration using electrical furnace. The heat profile of the burning procedure is shown in Figure 2.

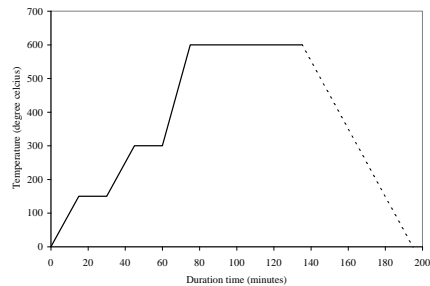



Figure 2. The heat profile for mud burning.

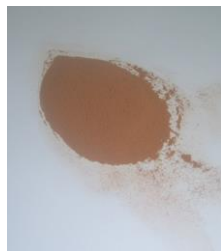



Figure 3. The burned mud produced after grinding.

- Five kg of the mud was then ground (3000 cycles) in a ball mill to increase its fineness. The mud hasparticle size similar to cement and it could function also as microstructure filler at the interfacial transition zone (ITZ). The ordinary Portland cement (OPC) particle was in the range of 100 micron in size and the mud was sieved to obtain particle which was smaller than 100 micron. The burned mud that was processed by burning and grinding is presented in Figure 3. The presence of silica in the mud was then verified with scanning electron microscope with an energy dispersive X-ray analysis system (SEM-EDX) and X-ray Fluorescence (XRF) equipment.

Energy dispersive X-ray (EDX) is an analytical technique used for the elemental analysis or chemical characterization of a sample. X-ray fluorescence (XRF) is a spectroscopic method that is commonly used for solids in which secondary X-ray emission is generated by excitation of a sample with X-rays. X-Ray Diffraction (XRD) can be used to analyze the crystalline properties of a material. Graph patterns of XRD analysis can show whether the material is in amorphous, partially crystalline, or crystalline state.

To understand the effect of Sidoarjo mud on hardened concrete, various test where conducted in the laboratory. The detail such as sample size, number of sample, age of test and standards are shown in Table 1

Table 1: The macro structure experimental details

Test	Sample Description			Standard	Unit	Measure	Equipment
	Size (mm)	No	Age (days)				
Strength	50 x 50 x 50	3	3, 7, 28	BS1881:Part 116:1983	N/mm²	Compression	Compression testing machine (3000KN)
Tensile	100 x 200	3	28	BS1881:Part 117:1983	N/mm²	Split/ Tensile	Compression testing machine 3000KN
Porosity	1" x 2"	3	28	BS1881:Part 124:1988	%	Ratio of void or air spaces	Vacuum bowl and weighing machine
UPV	50 x 50 x 50	3	3,7,28	BS1881:Part 201:1986	km/s	Integrity	UPV testing machine

Table 2 shows the chemical composition of OPC used in the experiment. Five different mixes with percentage replacement of OPC by Sidoarjo mud at 0, 5, 10, 15, and 20% OPC replacement were adopted. Water cement (w/c) ratio was taken as 0.5 and sand cement (s/c) ratio was capped as 1.

Table 2. Chemical properties of OPC.

Oxide composition	OPC, weight(%)
Na2O	0.02
MgO	1.43
Al2O3	2.84
SiO2	20.4
P2O5	0.1
K2O	0.26
CaO	67.7
TiO2	0.17
Fe2O3	4.64
SO3	2.2
SO2	0.16

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

Microstructure Analyses

Table 3 and Table 4 show the chemical properties of Sidoarjo mud before and after burning that were identified using SEM-EDX and XRF equipment respectively. Whilst Figure 3a and 3b show the SEM micrograph of mud before and after burning. Both muds have similar smooth, dense and compacted surface. Figure 4 describes the properties of mud in term of its amorphousness.

Table 3. The results achieved by SEM-EDX.

Element	Beforeburning,(%-mol)	after burning,(%-mol)
C	15.2	12.7
O	45.1	51.7
Na	0.9	0.9
Mg	1.0	1.1
Al	9.4	8.1
Si	19.6	21.4
Cl	0.7	0.6
K	1.5	0.3
Ca	1.1	1.0
Ti	0.7	1.7
Fe	4.8	0.4
Total	100.0	100.0

Table 4. The results achieved by XRF.

Oxides	Beforeburning,(%)	after burning, (%)
CaO	4.897	4.692
SiO2	54.9	56.08
Al2O3	20.44	20.64
Fe2O3	10.64	9.616
K2O	2.352	2.271
MgO	1.76	1.8
SO3	1.31	2.01
MnO	0.213	0.202
ZnO	0.0174	0.0149
Rb2O	0.01	0.0095
Cl	1.14	0.611
P2O5	1.06	0.927
Br	0.008	0
TiO2	1.16	1.06
ZrO2	0.0231	0
CuO	0	0.0028
SrO	0.07	0.0653
Total	100	100

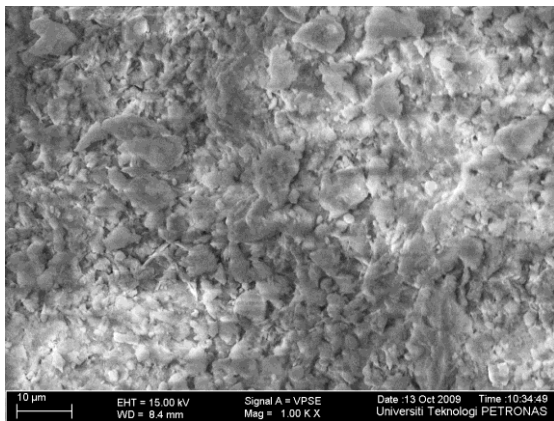



Figure 3a. SEM micrograph of mud before burning.

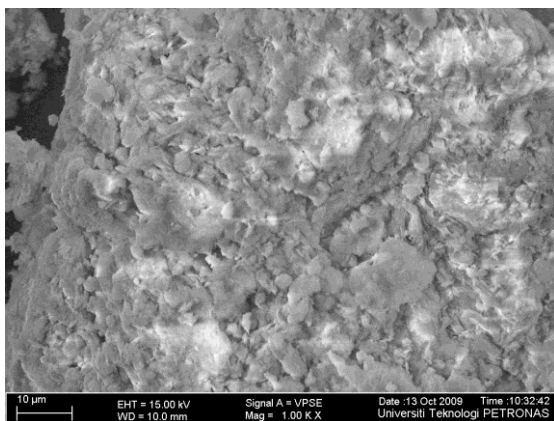



Figure 3b. SEM micrograph of mud after burning.

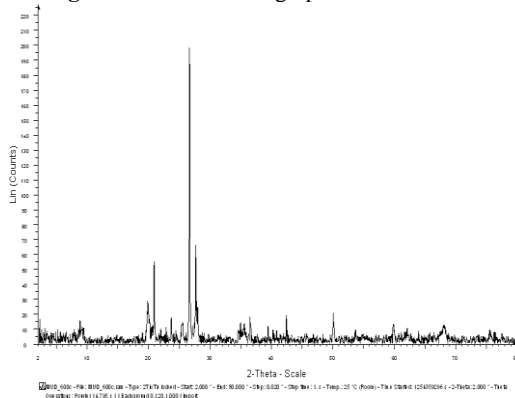



Figure 4. XRD result of mud after burning.

Compressive Strength

The strength development of mortar containing various percentages of Sidoarjo mud was monitored at ages 3, 7, and 28 days. Figure 5 shows the compressive strength result of the various mix proportion plotted against time.

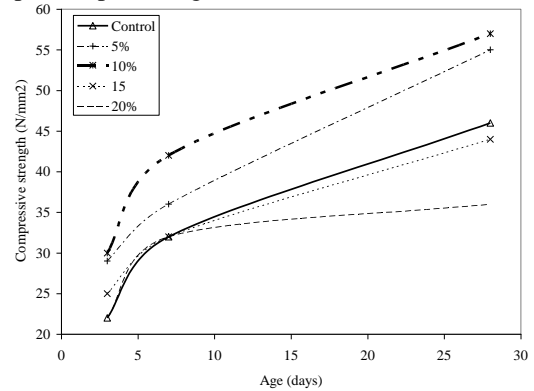



Figure 5. Compressive strength development against time.

It can be seen that the concrete strength is affected by the percentage of mud inclusions. It is evident that 10% of mud reacted well with the mixture of mortar and depict higher compressive strength compared to all other types of mortar at all ages. The 5% mixture also showed higher compressive strength compared to OPC samples but on the contrary lower compressive strengths were obtained for 15% and 20% replacement levels. At 28 days percentage differences, with respect to OPC samples of about 30%, 20%, -5%, -30% were obtained for 10%, 5%, 15% and 20% replacement respectively. Judging from the results obtained for 5% and 10% replacements it can be concluded that the mud can be used as a cement replacement material.

Tensile Strength

Figure 6 shows the effect of mud on tensile strength of concrete. It is evident that Sidoarjo mud concrete regardless of percentage replacement showed better tensile strengths compared to normal OPC mortar. It was also found that 10% replacement gave the highest tensile value i.e. 9.3% higher than control sample. The samples with 5%, 15% and 20% mud replacements showed 5.8%, 5.8%, 4.0% increase compared to normal concrete respectively. It is believed that chemical contents such as calcium, silica, and alumina were instrumental in enhancing the cement reaction hydration process.

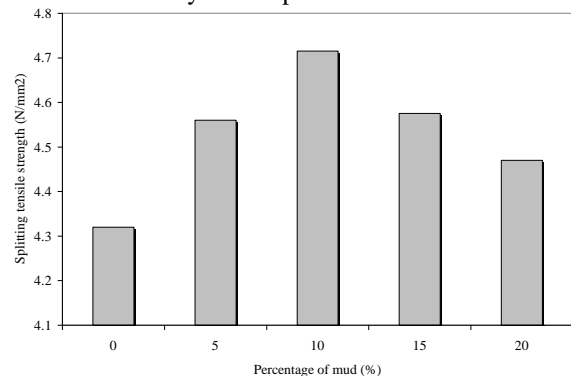



Figure 6. Tensile strength at 28 days.

Porosity

The technique of vacuum saturation is conducted to measure the porosity of the mortar. Experts have widely agreed for decades that the use of pozzolana or supplementary cementing materials (SCM) can reduce porosity. Figure 7 shows that the mud reduces the void ratio in the mixture. During hydration process, calcium hydroxide reacted with the pozzolana and increased the interlocking capability in the mixture. It is evident that this mud can reduce the void in the mixture and 10 % replacement seems to be giving the least porosity. A reduction of porosity of about 6% can be seen from the 10% inclusion whereas the other percentage inclusions did not have significant difference compared to OPC samples.

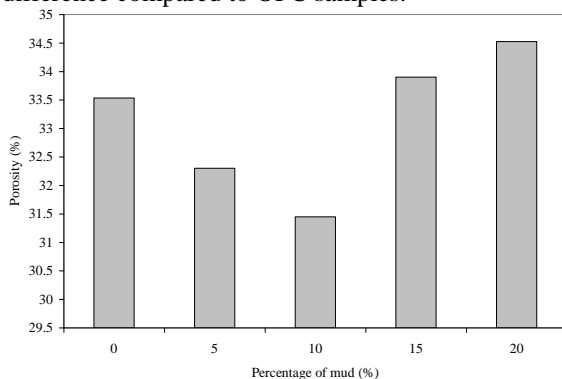



Figure 7. Porosity level.

Integrity

Figure 8 shows the UPV test results for the various percentages of mud replacements. Again it was found that 10% replacement showed the best result even though the difference is very small (about 1.8%) as compared to control OPC sample. After 10% replacement, UPV values decreased with increasing mud replacement as it occurred for compressive strength.

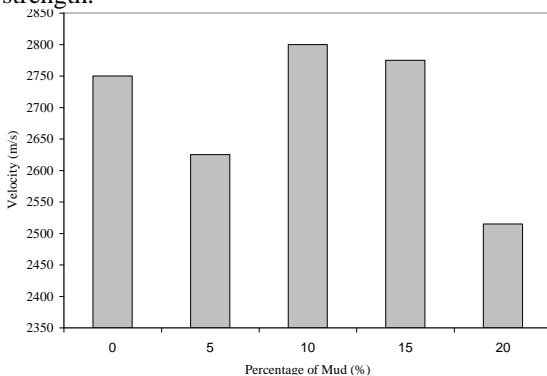



Figure 8. UPV test results.

IV. CONCLUSION

In conclusion, it can be confirmed that Sidoarjo mud from Porong, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia can be utilized as a cement replacement material with 10% replacement as the optimum value. Sidoarjo mud can improve the compressive strengths, integrity and able to reduce the porosity of mortar. Nevertheless, its influences on tensile, porosity and integrity are small as compared to compressive strength. Utilization of this material, as cement replacement material, that is available in abundance in Sidoarjo can not only mitigate social and environmental problems but also improve concrete properties.

V. ACKNOWLEDGEMENT

The authors wish to express their sincere appreciation to Universiti Teknologi PETRONAS for providing the facilities and financial grant in conducting the research.

VI. REFERENCES

- 1. Mazzini, H.S., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S., and Malthe-Sørenssen, I.A., Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. *Earth and Planetary Science Letters261*, 2007, pp. 375–388.
- 2. Geoffrey, S.P., Thomas, J.C., Handoko, T.W., Robert, J.R., Craig, A.J., George, N.B., Heather, A.L., Ruth, E.W., Philip, L.H., Harland, G., Michael, W.A., Cyrus, J.B., David, L.F., Gregory, P.M., and Suzette, A.M., *Preliminary Analytical Results for a Mud Sample Collected from the LUSI Mud Volcano, Sidoarjo, East Java, Indonesia*, U.S. Geological Survey, 2008.
- 3. Triwulan and Januarty, J.E., Tami, A., Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dan Lumpur Porong Kering Sebagai Pengisi, *Jurnal TORSI*, Nopember 2007, Tahun ke 27, no 3, 2007, pp.33-45.
- 4. Neville, A.M., *Properties of Concrete*, 4th edn., Longman, London. 2006.
- 5. Agarwal, S., Pozzolanic activity of various siliceous materials, *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp. 1735– 1739.
- 6. Na Zhanga, H.S., Xiaoming, L., Jixiu, Z., Early-age characteristics of red mud–coal gangue cementitious material, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 167, 2009, pp. 927-932.
- 7. Papadakis, V.G., Tsimas, S., Greek supplementary cementing materials and their incorporation in concrete. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 27, 2005, pp. 223–230.
- 8. Ayangade, J.A., Alake, O., and Wahab, A. B., The Effects of Different Curing Methods on the Compressive Strength of Terracrete, *Civil Engineering Dimension*, Vol. 11, No. 1, 2009, pp. 41-45.

9. Mehta, P.K., *Siliceous Ashes and Hydraulic Cements Prepared there-from.* (July 1973) U.S. Patent 4105459, August 1978.

29 MONITORING PENGARUH PEMBUANGAN LUMPUR SIDOARJO DI KALI PORONG MENGGUNAKAN CITRA SATELIT

Bangun Muljo Sukojo
Jurusan Teknik Geomatika – FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: bangun_m_s@yahoo.com

Abstrak – *Kabupaten Sidoarjo pada bulan Mei 2006, tepatnya di Kecamatan Porong, terjadi sebuah semburan yang pada akhirnya menjadi sebuah bencana ekologi nasional, yang berakibat terjadi perubahan peta tutupan lahan serta kemungkinan terjadi perubahan kualitas lingkungan dari aspek air dan tanah yang meliputi kadar COD, BOD dan pH.*

Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis memberi peluang untuk mengetahui perubahan tutupan lahan yang terjadi di kecamatan Porong, Tanggulangin, Krembung dan Jabon yang menjadi wilayah penelitian serta menampilkan kondisi kualitas lingkungan.

Hasil yang diperoleh adalah peta tutupan lahan dan perubahannya untuk kondisi sebelum terjadinya semburan pada tahun 2002 dan sesudah semburan tahun 2006 dan 2007 yang menunjukkan perubahan tutupan lahan yang signifikan di Kecamatan Porong untuk kelas pemukiman dan sawah yang tergenang lumpur sebanyak 54.727 Ha dan 109,149 Ha sedangkan untuk di kecamatan Tanggulangin terjadi perubahan sebesar 91.199 Ha untuk Pemukiman dan 22,665 ha untuk Sawah, serta informasi mengenai kadar COD, BOD dan pH pada masing-masing titik sampel baik di 4 kecamatan tersebut untuk kelas permukiman, sawah, sungai, tambak dan mangrove yang rata-rata menunjukkan masih memenuhi nilai standar baku mutu PP No.82/2001

Hasil penelitian ini adalah algoritma Lemigas mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.5900 terhadap data lapangan, untuk algoritma Jing Li mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.6093 terhadap data lapangan. persebaran sedimentasi di Muara Kali Porong cenderung dinamis, dengan dipengaruhi oleh faktor musim, pasang surut dan arus pasang surut, serta kontur bathimetri dan sumber material sedimen. Potensi pengendapan sedimen terbesar terjadi di hampir sepanjang pesisir sidoarjo-pasuruan, terutama di Muara Kali Porong. Laju perubahan daratan terbesar terjadi pada tahun 2007 – 2008 dengan laju 163.696 Ha/Tahun, laju pertambahan garis pantai berkisar antara 2 hingga 210 meter pertahun dan terdapat adanya daratan baru seluas 28.902 Ha, di sekitar Muara Kali Porong.

Dari hasil pengolahan data dan analisis didapatkan bahwa sedimentasi di sepanjang pantai Surabaya-Sidoarjo didominasi oleh nilai TSS 25-125 mg/L. Selain itu sedimentasi juga dapat dilihat dari adanya penambahan luas daratan sebesar 147,978ha antara tahun 2003 sampai 2006 dan 213,888ha antara tahun 2006 sampai 2009. Dari hasil ini dapat diindikasikan bahwa terjadi peningkatan laju sedimentasi pasca pembangunan jembatan Suramadu dan peristiwa Lapindo.

I. PENDAHULUAN

1.1. Fenomena Alam dan Sejarah Geologi

Dimulai dari panorama sebuah gunung yang dikeramatkan oleh penduduk dan tokoh2 kerajaan sejak Mpu Sindok, Erlangga, dan para pengikutnya : Gunung Penanggungan. Gunung Penanggungan, sebuah gunung setinggi 1659 meter di utara Gunung Arjuno-Welirang, adalah gunung paling dekat ke lokasi Kerajaan Majapahit. Gunung ini terletak di sebelah selatan Sungai Porong dan masih ke sebelah selatan dari Gawir Watukosek, sebuah gawir sesar hasil deformasi Sesar Watukosek yang juga membelokkan Sungai Porong , melalui titik2 semburan lumpur panas yang melalui gunung2 lumpur di sekitar Surabaya dan Bangkalan Madura.

Dari Gunung Penanggungan ke lembah dan delta Brantas pemandangannya permai dan subur lahannya, sehingga banyak kerajaan didirikan di dataran Brantas. Menurut Nash (1932) – "*hydrogeologie der Brantas vlakte*", Delta Brantas terbentuk berabad-abad lamanya; dan peranannya penting di dalam percaturan politik kerajaan-kerajaan yang pernah ada di Jawa Timur. Kemajuan dan kemunduran kerajaan-kerajaan ini kelihatannya banyak dipengaruhi oleh segala yang terjadi di Delta Brantas. Menurut penelitian Nash pada

tahun 1930, tanah Delta Brantas itu tidak stabil karena di bawahnya masih terus saja bergerak tujuh jajaran antiklin sebagai sambungan ujung Pegunungan Kendeng yang mengarah ke Selat Madura. Misalnya, pernah terjadi kenaikan tanah di sekitar sambungan (muara) Kali Brantas dengan Kali Mas; palung sungai bergeser ke kiri sehingga airnya mengalir ke barat. Setelah mengisi ledokan yang dinamai Kedunglidah (di sebelah barat Surabaya sekarang), kemudian mengalir menuju laut dan bermuara di dekat Gresik. Menurut catatan sejarah, Kedunglidah itu masih ada pada tahun 1838.

Secara geologi, jalur Jombang-Mojokerto-Bangsal adalah masih di dalam jalur Kendeng, masih di dalam wilayah bersedimentasi labil dan tertekan (elisional), yang menurut Nash (1932) di bawahnya dari selatan ke utara ada jajaran antiklin Jombang, antiklin Nunung-Ngoro, dan antiklin Ngelom-Watudakon yang terus bergerak yang menyebabkan Delta Brantas tidak stabil. Aktivitas deformasi di bagian timur Kendeng ini secara detail digambarkan oleh Duyfjes (1936) yang memetakan lembar peta 109 (Lamongan), 110 (Mojokerto), 115 (Surabaya), dan 116 (Sidoarjo) pada skala 1 : 100.000. Beberapa gambar2-nya dimuat di buku van Bemmelen (1949) yang juga mengatakan bahwa secara struktural deformasi di wilayah Kendeng bagian timur ini terjadi melalui gravitational tectogenesis sebab geosinklin Kendeng timur-Madura Strait masih sedang menurun. Kondisi elisional semacam ini tentu memudahkan *piercement structures* seperti *mud volcano eruption*. Dari geosinklin menjadi antiklinorium jelas melibatkan sebuah sistem elisional.

Denys Lombard dalam "*Le Carrefour Javanais - Essai d'Histoire Globale*" menulis tentang "*Prasasti Kelagyan*" zaman Erlangga bercandra sengkala 959 Caka (1037 M). Kelagyan adalah nama desa Kelagen sekarang di utara Kali Porong. Prasasti Kelagyan menceritakan bahwa pada suatu hari sungai Brantas yang semula mengalir ke utara tiba-tiba mengalir ke timur memutuskan hubungan negeri Jenggala dengan laut, merusak tanaman dan menggenangi rumah2 penduduk. Erlangga bertindak dengan membangun bendungan besar di Waringin Pitu dan memaksa sungai kembali mengalir ke utara. Mungkin, inilah yang disebut sebagai bencana "*Banyu Pindah*" dalam buku Pararaton. Bencana seperti ini kelihatannya terjadi berulang2, bencana yang sama dicatat di dalam buku Pararaton terjadi lagi tahun 1256 Caka (1334 M) pada zaman Majapahit. Sejak zaman Kerajaan Medang abad ke-9 dan 10, Delta Brantas yang dibentuk dua sungai (Kali Mas dan Kali Porong) diolah dengan baik, muara Brantas dijadikan pelabuhan untuk perdagangan (Pelabuhan Hujung Galuh). Ibukota kerajaan didirikan dan dinamakan Kahuripan yang letaknya di dekat desa Tulangan, utara Kali Porong, di sebelah barat Tanggulangin, di dalam wilayah Kabupaten Sidoarjo sekarang. Setelah kerajaan Erlangga pecah menjadi dua pada abad ke-11, yaitu Panjalu (Kediri) dan Jenggala (Kahuripan), dan Kahuripan mundur lalu dianeksasi Kediri, pelabuhan dari Brantas ditarik ke pedalaman di Canggu, dekat Mojokerto sekarang. Kemudian, Kediri digantikan Singhasari, lalu akhirnya Kerajaan Majapahit pada tahun 1293 M, pusat kerajaan kembali mendekati laut di Delta Brantas, sehingga Majapahit menjadi kerajaan yang menguasai maritim. Daldjoeni (1984) menulis bahwa mulai mundurnya Majapahit pada akhir tahun 1300-an mungkin bukan hanya karena sepeninggal patih Gajah Mada (1364 M) atau Raja Hayam Wuruk (1389 M), tetapi juga dapat dihubungkan dengan mundurnya fungsi delta Brantas yang didahului oleh rentetan bencana geomorfologis yang dalam buku-buku sejarah tidak pernah ditulis. Namun, sebagai gejala alami, Kitab Pararaton mencatat hal-hal yang menarik untuk kita perhatikan.

Dalam hubungan dengan kemunduran Majapahit, kitab Pararaton mencatat (Brandes, 1896: *"Pararaton"* , 1920 diedit oleh N.J. Krom) : Bencana yang dalam kitab Pararaton disebut **"BANYU PINDAH"** (terjadi tahun 1256 Caka atau 1334 M) dan **"PAGUNUNG ANYAR"** (terjadi tahun 1296 Caka atau 1374 M). Secara harafiah, Banyu Pindah=Air Pindah, Pagunung Anyar = Gunung Baru. Penelitian selanjutnya (Nash, 1932) telah menemukan bukti-bukti bahwa telah terjadi berbagai deformasi tanah yang pangkalnya adalah bukit-bukit Tunggorono di sebelah selatan kota Jombang sekarang, kemudian menjalar ke timurlaut ke Jombatan dan Segunung. Akhirnya gerakan deformasi tersebut mengenai lokasi pelabuhan Canggu di sekitar Mojokerto sekarang, lalu makin ke timur menuju Bangsal . Di dekat Bangsal ada sebuah desa yang namanya GUNUNG ANYAR. Begitu juga di tempat pangkal bencana terjadi di selatan Jombang ada nama desa serupa yaitu DENANYAR yang semula bernama REDIANYAR yang berarti gunung baru. Nama GUNUNG ANYAR juga dipakai sebagai nama sebuah kawasan di dekat Surabaya adalah sebuah mud volcano. Apakah bencana alam yang memundurkan era keemasan Majapahit yang dalam kitab Pararaton disebut bencana "*Pagunung Anyar*" adalah bencana-bencana terjadinya erupsi jalur gununglumpur dari selatan Jombang-Mojokerto-Bangsal ? Jalur itu membentuk jarak sepanjang sekitar 25 km. Erupsi gununglumpur inilah yang mengganggu kehidupan di Majapahit pada akhir tahun1300-an dan pada awal 1400-an. Serangan fatal mungkin terjadi karena rusaknya pelabuhan Canggu di dekat Mojokerto, sehingga Majapahit yang merupakan kerajaan maritim menjadi terisolir dan perekonomiannya mundur. Zaman itu, Canggu di Mojokerto masih bisa dilayari dari laut sekitar Surabaya sekarang.

Sepeninggal Hayam Wuruk, raja-raja Majapahit kurang cakap memimpin negara, banyak perang saudara, seperti Paregreg, yang melemahkan negara sampai akhirnya Majapahit musnah pada tahun 1527 M saat diserang kerajaan Islam pertama di Jawa : Demak. Suksesi tidak berjalan dengan baik, one-man show mendominasi pemerintahan selama Gajah Mada dan Hayam Wuruk, tak ada regenerasi ke penerusnya.

Sepeninggal pasangan Gajah Mada-Hayam Wuruk, negara melemah. Tetapi, catatan2 tak tertulis di buku sejarah, kecuali Pararaton beserta kondisi geologis-geomorfologis Delta Brantas menunjukkan, bahwa bencana alam erupsi gununglumpur juga patut diperhitungkan sebagai penyebab kemunduran Majapahit.

Adanya gejala terbentuknya kaldera atau kawah raksasa di kawasan Porong sedang dalam proses pembentukan,seperti yang pernah terjadi di kawasan Porong pada jutaan tahun silam, atau sekitar jaman pleistosen-holosen (1 juta-11 ribu tahun lalu, pada jaman itu pernah terbentuk kaldera berdiameter 6 km dengan kedalaman 100-300 meter. "Menurut catatan geologis, lokasinya di bekas sumur Porong 1 atau sekitar 7 km arah timur laut dari sumur Banjar Panji 1," tetapi disformasi geologis cenderung mengarah ke barat (Siring, Jatirejo, Desa Wunut, Desa Pamotan, Gedang, Juwetkenongo dan Kesambi) hingga sejauh 6 km dari pusat semburan. Kawasan itu merupakan jalur relokasi infrastruktur Porong, yang selama ini diprediksi tetap aman hingga 45 tahun ke depan. Selain itu di prediksi kemungkinan proses serupa mengarah ke timur (Desa Glagaharum, Kecamatan Porong) atau bisa juga ke utara (Desa Kalidawir, Gempolsari, Kalitengah, Kalisampurno, dan Ketapang, yang masuk wilayah Kecamatan Tanggulangin) dan mungkin pula ke arah selatan, Jembatan Porong dan desa-desa yang masuk wilayah Kecamatan Jabon. (Andang Bachtiar)

Di dalam perut bumi Porong adalah merupakan lapangan *mud volcano* (gunung lumpur). Maka material vulkanis yang berada di dalam perut bumi Porong adalah material yang dinamis dan sewaktu-waktu dapat menyembur ke permukaan, jika terdapat beban berat di atas permukaan. Sehingga akan terulang fenomena Kubah Sangiran yang terjadi di Pulau Jawa pada 400 tahun silam. Saat itu terjadi erupsi (semburan) dahsyat sehingga menyebabkan terkuburnya Kerajaan Majapahit. (Sukendar Asikin).

1.2. Peristiwa Lapindo

Pada tanggal 29 Mei 2006, sebuah semburan kecil dari lumpur di tengah-tengah sawah di lokasi pengeboran tepatnya berjarak 100-200 meter Sumur Banjar Panji-1 (BJP-1) milik PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.

Terjadinya semburan lumpur ini disebakan kesalahan prosedur pengeboran yang dilakukan oleh kontraktor PT Lapindo Brantas, yaitu PT Medici Citra Nusantara, kesalahan tersebut karena patahnya saluran bor (tanpa pengaman) tepat atau disekitar daerah endapan (lumpur, pasir bermuatan gas) yang mudah bergerak dengan tekanan gas yang kuat. (Walhi Jatim, 2006).

Berbagai skenario telah dilakukan untuk menghentikan semburan lumpur ini, namun setalah lebih dari setahun, semburan ini belum dapat dihentikan, volume lumpur yang keluar mencapai 50.000 m3 per hari (Teguh H, 2006). Pakar geologi bahkan mengindikasikan bahwa semburan tidak dapat ditutup lagi dan baru akan berhenti setelah tenaga dari dalam habis. (www.dongenggeologi.com)

Hal ini mengakibatkan semakin luasnya wilayah yang tergenang lumpur. Dampak kejadian yang ditetapkan sebagai Bencana Ekologi Nasional ini semakin kompleks, baik dampak dari segi ekonomi, sosial, budaya dan kualitas lingkungan. (Walhi Jatim, Juni 2006)

Oleh karena itu diperlukan pantauan secara terus menerus mengenai sebaran lumpur panas, proses pengembangan semburan yang terjadi dan dampak terhadap kualitas lingkungan.

Banjir lumpur panas Sidoarjo merupakan peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, yang diawali pada tanggal 29 Mei 2006 dan sampai sekarang semburannya belum berhenti. Sebaran lumpur yang makin lama makin meluas menyebabkan daerah yang ikut tergenang juga semakin bertambah banyak. .

Semburan Lumpur Lapindo yang terjadi di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo memaksa pemerintah untuk bertindak cepat agar luapan lumpur tidak terlalu banyak meluap di pemukiman penduduk. Salah satu diantaranya mengalirkan lumpur di kali porong yang bermuara di Selat Madura. Kekhawatiran yang dikemukakan berbagai kalangan masyarakat tentang akan tercemarnya perairan Selat Madura oleh aliran Lumpur Porong memang perlu menjadi perhatian bersama. Berbagai kajian dan ulasan mengenai kemungkinan-kemungkinan dampak yang terjadi jika lumpur dan air lumpur ini dialirkan ke perairan Selat Madura masih menjadi wacana pro-kontra yang berkepanjangan.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) sejak tahun 1995 telah memetakan kawasan Selat Madura ini menggunakan Kapal Peneliti Geomarin Berdasarkan hasil pengujian terhadap 20 parameter pencemar lingkungan air lumpur Porong (hasil Lab. PU Bina Marga) ternyata ada parameter yang melebihi ambang batas baku mutu lingkungan (SK Gubernur Jatim No. 45/2002), salah satunya yaitu kandungan Muatan Padatan Tersuspensi (TSM). Massa Padatan Tersuspensi (TSM) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1µm) yang tertahan pada saringan milipore dengan diameter pori 0.45 µm. Muatan Padatan Tersuspensi terdiri dari Lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik. Penyebab nilai Muatan Padatan Tersuspensi yang utama adalah kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Nilai Muatan Padatan Tersuspensi bila berlebih akan menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis karena bila jenis sedimentasi ini terus mengalir ke selat madura akan menyebabkan kedangkalan pada daerah selat madura tersebut. Kedangkalan tersebut menyebabkan perubahan pada sedimentasi dan berdampak pada perubahan garis

pantai dan tutupan lahan pada daerah sepanjang muara Sungai Porong di Selat Madura. Kali Porong merupakan area pembuangan Lumpur Lapindo, demikian dilakukan untuk mencegah jebolnya tanggul akibat penuhnya tanggul Lumpur Lapindo. Pembuangan material lumpur dalam jumlah yang besar dan terus menerus mengakibatkan terjadinya sedimentasi di Kali Porong, tidak menutup kemungkinan bahwa adanya aliran lumpur Lapindo mengakibatkan material lumpur tidak banyak mengendap di sepanjang kali, tetapi mengendap di daerah muara Kali Porong, yang berada di Selat Madura (Walhi Jatim, 2006). Sedimentasi tersebut akan berakibat pada perubahan garis pantai atau penambahan daratan di pesisir Surabaya-Sidoarjo yang selanjutnya mengakibatkan perubahan penggunaan lahan daerah tersebut, selain itu juga berpengaruh pada sebaran *Total Suspended Matter* (TSM) di Selat Madura.

Daerah pesisir merupakan daerah yang sangat rentan terhadap adanya perubahan lingkungan. Contohnya yaitu terjadinya pembangunan Jembatan Suramadu yang diresmikan pada tanggal 10 Juni 2009 dan Peristiwa Lapindo yang terjadi pada tanggal 29 Mei 2006. Dengan adanya dua contoh aktifitas manusia di atas, maka dapat dilihat banyak terjadi perubahan penggunaan lahan yang terdapat di wilayah pesisir terutama berkaitan dengan keberadaan ekosistem hutan mangrove. Hutan mangrove merupakan ekosistem yang unik dan rawan. Demikian pula upaya pembuangan semburan lumpur Lapindo ke laut melalui Kali Porong, Sidoarjo dan selesainya pembangunan jembatan Suramadu, Surabaya. Jika hal itu terjadi maka kondisi inipun menjadi bagian dari pengaruh eksternal terhadap dinamika lingkungan pantai. Tetapi sejauh mana pengaruhnya terhadap kawasan pesisir, tergantung dari pemanfaatan lahan baik di sekitar muara Kali Porong, di pesisir pantai Sidoarjo dan di pesisir pantai Surabaya.

1.3. Teknologi Penginderaan Jauh

Pemantauan kualitas lingkungan (fisik) dapat dilakukan dengan Teknologi Penginderaan Jauh yang menghasilkan sebuah informasi mengenai kualitas lingkungan di Kabupaten Sidoarjo setelah terjadinya Bencana Ekologi Lumpur Lapindo.

Kemampuan penginderaan jauh dalam pengolahan dan penyajiannya diharapkan dapat membantu menyediakan informasi yang lengkap tentang arah sebaran lumpur lapindo dan daerah-daerah yang dianggap berbahaya terhadap bencana semburan lumpur Lapindo di Kabupaten Sidoarjo sesuai dengan zonasi bahaya pada daerah disekitar bencana lumpur Lapindo.

Dengan data citra satelit Ikonos multitemporal dan metode klasifikasi visual diperoleh peta tutupan lahan dan peta perubahan tutupan lahan yang menunjukkan perubahan yang signifikan serta peta kontur untuk mengetahui arah sebaran lumpur Lapindo, yaitu diprediksi arah sebaran lumpur lapindo menuju ke arah timur laut, tenggara dan arah barat daya, ini disebabkan daerah tersebut mempunyai ketinggian yang lebih rendah dibandingkan daerah yang lainnya. Selain itu, didapatkan luasan daerah genangan dan peta daerah bencana semburan lumpur Lapindo dimana peta tersebut menggambarkan daerah-daerah yang dianggap berbahaya. Dari data tersebut maka kita dapat mengurangi kerugian yang nantinya dapat dialami oleh penduduk disekitar lumpur Lapindo.

Dari beberapa penelitian mengenai sedimentasi yang telah dilakukan, maka studi mengenai sedimentasi merupakan hal menarik untuk dikaji dengan mengaplikasikan teknologi penginderaan jauh dari data multitemporal. Studi menggunakan citra satelit multitemporal cocok digunakan untuk mengkaji masalah sedimentasi di pantai Surabaya-Sidoarjo sebagai dampak dari pembangunan jembatan Suramadu dan peristiwa Lapindo. Dengan Teknologi Penginderaan Jauh dapat diketahui sedimentasi di muara Kali Porong, yaitu dengan data citra satelit *ASTER* dan data citra satelit Landsat sebagai pembanding, sedangkan metode pengolahannya menggunakan algoritma berdasarkan nilai reflektansi yaitu Algoritma Jing Li (2008) dan sebagai pembanding yaitu algoritma berdasarkan nilai *Digital Number* (DN) yaitu algoritma Lemigas (1997). Pengolahan citra satelit *ASTER* dilakukan secara multitemporal untuk mengetahui seberapa besar sedimentasi daerah tersebut.

Ekosistem mangrove merupakan salah satu obyek yang dapat diidentifikasi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Letaknya yang berada pada daerah peralihan darat dan laut memberikan efek perekaman yang khas jika dibandingkan dengan obyek vegetasi lainnya. Hal ini dilakukan dengan menggunakan data citra satelit dan metode pengolahannya digunakan formula NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Pengolahan citra satelit dilakukan secara multitemporal, hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar proses perubahan ekosistem yang terjadi pada daerah pesisir Surabaya-Sidoarjo.

II. HASIL PENELITIAN MONITORING PENGARUH LUMPUR LAPINDO

2.1 Hasil Analisa Kualitas Lingkungan

Paramater yang digunakan untuk mengetahui kualitas lingkungan adalah dari sampel tanah dan air dan dilakukan uji laboratorium untuk kadar COD, BOD dan pH. Permukiman di wilayah Porong yang berjarak dari lumpur yang 1,7094 km untuk Air Sumur (air golongan 3) mempunyai hasil nilai COD sebesar 58,356 mg/L dari baku mutu PP No 82/2001 yakni sebesar 50 mg/L, sedangkan untuk kadar BOD nya diperoleh data sebesar 5,918 mg/L hasil dari standar baku mutu sebesar 6 mg/L, sedangkan untuk nilai pH (tingkat keasaman) diperoleh nilai 8 dari standar baku mutu sebesar 6-9. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kadar air (sumur) pemukiman di Kecamatan Porong tidak sesuai

dengan baku mutu yang telah ditetapkan (kecuali untuk nilai pH), yaitu untuk COD yang seharusnya batas maksimal nya adalah 50 mg/L, namun di pemukiman Porong dengan kooordinat besar COD nya melebihi batas maksimal yang diperbolehkan. Tingginya COD menandakan banyaknya bahan-bahan kimia yang terkandung, sehingga kuang baik kualitasnya. Sedangkan untuk tanah masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan, yaitu 48,563 mg/L untuk COD dan BOD sebesar 4,691 mg/L sedangkan pH sebesar 8, sehingga kualitas tanah sesuai dengan standar.

Pemukiman di Tanggulangin yang berada pada jarak 2,7 km dari koordinat lumpur yang diambil sampel menunjukkan bahwa untuk Air Sumur (air golongan 3) mempunyai hasil nilai COD sebesar 46,583 mg/L dari baku mutu sebesar 50 mg/L, sedangkan untuk kadar BOD nya diperoleh hasil 4,517 mg/L dari standar baku mutu sebesar 6 mg/L, sedangkan untuk nilai pH (tingkat keasaman) diperoleh nilai 8 dari nilai 6-9 yang diperbolehkan. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kadar air (sumur) pemukiman di titik sampel Kecamatan Tanggulangin dengan masih sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan , sehingga kualitas air di titik ini masih memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Titik Sampel yang diambil adalah sawah didaerah Porong yang berjarak 1,74251 Km dari koordinat lumpur yang di uji sampel. Hasil dari pengujian laboratorium untuk kandungan COD, BOD dan pH dari titik ini adalah sebesar 33,532 mg/L, 3,467 mg/L dan 8, dari baku mutu sebesar 50 mg/L, 6 mg/L serta 6-9. Sawah pada titik ini mempunyai nilai BOD yang relatif rendah, maka untuk kawasan sawah kurang baik, karena menandakan keberlangsungan mikroorganisme ataupun makhluk hidup di area tersebut juga relatif sedikit. Sedangkan kualitas tanahnya pada titik ini, kadar COD sebesar49,2369 mg/L BOD sebesar dan 5,033 mg/L dab pH sebesar 8. Nilai dari masing-masing parameter masih sesuia dengan kualitas yang disyaratkan untuk keberlangsungan tanaman sawah.

Di Sungai Porong yaitu di lokasi sampel berjarak 1,724 km dari koordinat lumpur yang diambil sampelnya, didapat hasil bahwa ternayat kadar COD melebihi dari baku mutu yang ada, yakni 56,731 mg/L dari toleransi yang hanya sebesar 50 mg/L, hal ini menyebabkan kadar BOD nya juga semakin rendah yaitu hanya berkisar 4,589 mg/L, sehingga kurang baik untuk makhluk hidup atau mikroorganisme air.

2.2 Hasil Analisa Tutupan Lahan

Citra satelit yang digunakan dalam penelitian adalah Landsat 7 ETM+ Kabupaten Sidoarjo tanggal 19 Mei 2002 (sebelum terjadinya semburan Lumpur Lapindo), SPOT 4 Kabupaten Sidoarjo tanggal 28 Juni 2006 (satu bulan setelah terjadinya semburan Lumpur Lapindo) dan SPOT 4 Kabupaten Sidoarjo tanggal 19 September 2007 (satu tahun setelah semburan Lumpur Lapindo).

Untuk Kecamatan Porong dalam waktu satu bulan setelah terjadi semburan lumpur, tutupan lahan untuk sawah sudah berganti menjadi lumpur seluas 96,198 Ha. Sedangkan di Kecamatan Tanggulangin sebulan setelah terjadi semburan lumpur juga terjadi perubahan tutupan lahan untuk permukiman, yang tergenang sebesar 4,951 Ha sedangkan untuk sawah sebesar 16,574 Ha. Tetapi untuk Kecamatan Krembung dan Kecamatan Jabon tidak terjadi perubahan tutupan lahan yang berubah menjadi lumpur.

Pada Mei 2008 saat dilakukan cek lapangan, perubahan tutupan lahan yang menjadi genangan lumpur semakin meluas yaitu seluas 54,727 Ha permukiman telah tergenang lumpur dan untuk area sawah yang tergenang lumpur menjadi 109,149 Ha Setelah 2 tahun terjadinya semburan lumpur di Kecamatan Tanggulangin, sawah yang menjadi lumpur seluas 22,655 Ha sedangkan untuk permukiman yang tegenang seluas 91,199 Ha. Kecamatan Jabon yang awalnya tidak terpengaruh dampak Lumpur secara langsung, maka pada tahun 2008 terjadi perubahan tutupan lahan dimana permukiman di wilayah Jabon yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Porong yang dekat dengan semburan, telah mengalami genangan lumpur seluas 0.683 Ha sedangkan untuk sawah yang terendam lumpur seluas 6,276 Ha.

2.3 Hasil Analisa Arah Aliran Lumpur

Dari hasil overlay peta tutupan lahan yang bersumber pada citra satelit SPOT 4 Kabupaten Sidoarjo tanggal 19 September 2007 dengan peta kontur yang bersumber pada peta rupa bumi Kabupaten Sidoarjo, maka di dapat hasil bahwa untuk 4 kecamatan yang ada di Kabupaten Sidoarjo tersebut mempunyai ketinggian yang relatif datar, tetapi tetap ada selisih ketinggian, untuk Kecamatan Porong di sekitar semburan mempunyai interval kontur 5 m sedangkan ke arah barat interval konturnya sebesar 7, 5 m, sementara di Kecamatan Tanggulangin yang terletak di sebelah utara arah timur mempunyai interval kontur 2,5 m. sehingga arah aliran lumpur akan mengalir ke wilayah yang mempunyai interval kontur lebih rendah yaitu ke arah utara, arah timur dari pusat semburan.

Sedangkan untuk penelitian yang lebih detail digunakan citra satelit Ikonos multitemporal tanggal 31 Oktober 2006, 5 Januari 2007, 22 April 2007, 7 Agustus 2007, 5 Januari 2008, 2 April 2008 dan data DEM SRTM. Dalam penelitian ini digunakan klasifikasi visual. Hasil yang diperoleh adalah peta tutupan lahan dan peta perubahan tutupan lahan tahun 2006-2008 yang menunjukkan perubahan yang signifikan serta peta kontur untuk mengetahui arah sebaran lumpur lapindo. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa prediksi arah sebaran lumpur lapindo menuju ke arah timur laut (Gempolsari, Renokenongo dan Kalidawir), tenggara (Besuki, Glagaharum dan Keboguyang) dan arah barat daya

(Kedungcangkring, Mindi). Ini disebabkan daerah tersebut mempunyai ketinggian yang lebih rendah dibandingkan daerah yang lainnya. Luasan lumpur tersebut yaitu pada tanggal 31 Oktober 2006 adalah 306,39 Ha; 5 Januari 2007 adalah 472,797 Ha; 22 April 2007 adalah 599,463 Ha; 7 Agustus 2007 adalah 559,503 Ha; 5 Januari 2008 adalah 611,575 Ha dan 2 April 2008 adalah 635,503 Ha. Selain itu, didapatkan peta daerah bencana semburan lumpur lapindo dimana peta tersebut menggambarkan daerah-daerah yang dianggap berbahaya. Dari data tersebut maka kita dapat mengurangi kerugian yang nantinya dapat dialami oleh penduduk disekitar lumpur Lapindo.

2.4 Hasil Analisa Sedimentasi

Untuk mengetahui dampak semburan lumpur terhadap perubahan pantai perlu dilakukan penelitian mengenai sedimentasi di muara Kali Porong, dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh, yaitu dengan data citra satelit *TERRA/ASTER* level 1B *Path, Row, Swath* 118,181,3 11 Maret 2005 jam 03:27:39.00, 1 Juli 2006 jam 02:52:57.85 , 10 Februari 2007 jam 02:53:12.00 , 19 Mei 2008 jam 02:45:39.85 dan Landsat5 TM tanggal 24 Juli 1994 dan Landsat7 ETM+ tanggal 22 Mei 2003 sebagai pembanding, sedangkan metode pengolahannya menggunakan algoritma berdasarkan nilai reflektansi yaitu Algoritma *Jing Li* (2008) dan sebagai pembanding yaitu algoritma berdasarkan nilai *Digital Number* (DN) yaitu algoritma Lemigas (1997). Penggunaan citra satelit *ASTER* tahun 2005 hingga 2008, citra satelit Landsat7 ETM+ tahun 2003, dan citra satelit Landsat 5 tahun 1994 adalah secara multitemporal untuk mengetahui seberapa besar sedimentasi daerah tersebut.

Analisa Sebaran Sedimen berdasarkan hasil klasifikasi citra ASTER, Landsat 5 TM dan Landsat 7 ETM+ luasan sedimen pada setiap tahun memiliki luasan yang dinamis di setiap kelasnya. Hasil klasifikasi berdasarkan algoritma Jing Li mempunyai luasan yang berbeda dengan hasil klasifikasi menggunakan algoritma Lemigas, penyebabnya adalah perbedaan metode pengolahan citra. Dinamisnya luasan dan sebaran sedimen di setiap kelas disebabkan karena banyak faktor. musim, pasang surut, arus pasang surut, kontur bathimetri dan sumber material sedimen. Sumber material sedimen di pesisir disebabkan karena pesisir Sidoarjo-Pasuruan banyak terdapat muara sungai yang memiliki debit sungai relatif tinggi (500 – 1100 m^3/detik). Ditambah sejak tahun 2006 terjadi limpahan sedimen berasal dari bencana lumpur lapindo yang dialirkan ke selat Madura melalui Kali Porong. Hal ini bisa dilihat perbedaan antara citra akuisisi sebelum terjadinya bencana lumpur lapindo, konsentrasi sedimen suspensi Kali Porong dan Kali Ketingan berada pada kelas sedang yaitu antara 50 – 100 mg/l. Pada citra akuisisi setelah bencana lumpur lapindo berada dalam kelas 100 – 150 mg/l, sedangkan setelah pembuangan lumpur ke Selat Madura melalui Kali Porong (2007-2008), konsentrasi sedimentasi Kali Porong meningkat berada pada kelas tinggi yaitu >200 mg/l.

Perubahan daratan terbesar adalah tahun 2006-2007, sebaran perubahan daratan terbesar di Muara Kali Ketingan dan Muara Kali Porong. pertambahan garis pantai mencapai 0 – 111 meter. Terdapat dangkalan di Muara Kali Porong seluas 6 Ha, dan tahun 2008 meluas mencapai 11 Ha. Perubahan daratan di pesisir Sidoarjo-Pasuruan, secara umum disebabkan oleh kegiatan di hulu sungai seperti penebangan hutan pacet, hutan gondang, dan hutan wonosalam yang sering mengakibatkan longsor dan banjir bandang di daerah Trawas-Mojokerto (Desember 2002 dan Februari 2004). Kegiatan di hilir sungai juga mempengaruhi banyaknya material yang diendapkan di muara, seperti banyaknya penambangan liar di daerah yang dilarang pemerintah, penambangan pasir ini banyak terjadi di Jabon-Sidoarjo. Pada bulan Oktober 2006, luapan lumpur lapindo di alirkan ke Selat Madura melalui Kali Porong, sehinga pada bulan September 2007 banyak terdapat gosong di Kali Porong, dan penumpukan sedimen di Muara Kali Porong setebal 0,024 meter/jam (DKP, 2007). Selain kegiatan di hilir dan hulu sungai, kegiatan di pesisir pantai dan kondisi hidro-oseanografi juga mampengaruhi, seperti jika musim kemarau arus membawa material sedimen kearah utara, sehingga mengakibatkan banyak sedimen mengendap di Muara Kali Ketingan.

Potensi sedimentasi dilakukan dengan menampalkan citra tahun 1994, 2003, 2005, 2006, 2007, dan 2008, juga data sekunder yaitu peta bathimetri dan peta arus, didapatkan peta potensi sedimentasi yang terbagi menjadi tiga kelas. Potensi sedimentasi 1 merupakan potensi yang paling mungkin terjadi pengendapan sedimen dan memungkinkan terjadinya daratan baru. Hal ini didasarkan pada:

a) Limpahan sedimen yang tinggi baik dari material yang dibawa kelaut oleh sungai yang mengalir ke Selat Madura, maupun material berasal dari erosi pantai daerah lain.
b) Juga didasarkan pada kontur bathimetri yang dangkal, daerah potensi sedimentasi 1 berada pada kontur bathumetri antara kontur 0 – kontur 2.
c) Arus pasang surut pada daerah potensi sedimentasi 1 berkisar antara 0 – 0.1 m/det.
d) Daerah potensi sedimentasi 1 mengikuti pola perubahan daratan dari tahun 1994 – 2008.

Potensi Sedimentasi 2 merupakan potensi kedua setelah potensi sedimentasi 1. Hal ini didasarkan pada letak potensi sedimentasi 2 lebih jauh dari daratan, sehingga sedimen tersuspensi akan sulit mengendap. Selain itu kontur bathimetrinya pun berada pada kontur 2 dan arus pasang surutnya

antara 0.1 – 0.5 m/det. Sedangkan potensi sedimentasi 3 merupakan potensi terakhir yang memungkinkan terjadinya pengendapan

Selanjutnya digunakan data citra satelit SPOT-4 (tahun 2006 dan 2009) daerah pantai Surabaya-Sidoarjo, serta citra Landsat-7 ETM tahun 2003. Untuk tahun 2006 dihasilkan bahwa persebaran kelas sedimentasi dengan luas terbesar adalah kelas 1 yang tersebar di perairan laut jawa. Sedangkan kelas dengan luas terkecil adalah kelas 10 yang tersebar tidak merata di sepanjang pantai. Di sekitar jembatan Suramadu didominasi oleh kelas 3 dengan besar nilai TSS berkisar antara 50-75 mg/L. Sedangkan di muara Porong didominasi oleh kelas 2 dan 3, dengan nilai TSS berkisar antara 25-75 mg/L. Sedangkan untuk tahun 2009 dihasilkan persebaran kelas sedimentasi dengan luas terbesar adalah kelas 2 yang tersebar di perairan laut jawa, mendekati sisi Sidoarjo. Sedangkan kelas dengan luas terkecil adalah kelas 10 yang tersebar tidak merata di sepanjang pantai. Di sekitar jembatan Suramadu didominasi oleh kelas 4,5 dan 6 dengan besar nilai TSS berkisar antara 75-150 mg/L. Sedangkan di muara Porong didominasi oleh kelas 3 dan 4, dengan nilai TSS berkisar antara 50-100 mg/L.

Untuk persebaran kelas sedimentasi dengan luas terbesar adalah kelas 3 yang tersebar di perairan laut Jawa, mendekati sisi Surabaya. Sedangkan kelas dengan luas terkecil adalah kelas 10 yang tersebar tidak merata di sepanjang pantai. Di sekitar jembatan Suramadu didominasi oleh kelas 4,5 dan 6 dengan besar nilai TSS berkisar antara 75-150 mg/L. Sedangkan di muara Porong didominasi oleh kelas 3 dan 4, dengan nilai TSS berkisar antara 50-100 mg/L.

Terjadi penambahan luas daratan yang signifikan antara tahun 2006 ke 2009 (171.212 ha) jika dibandingkan dengan penambahan luas antara tahun 2003 dan (29.843 ha). Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah:

a. Sedimen yang dibawa oleh sungai-sungai yang bermuara di pantai Surabaya-Sidoarjo, misalnya Sungai Brantas dan Sungai Porong. *Marine Geological Institute (MGI)* Indonesia mencatat Kali Brantas membawa sedimen 1,3 kilogram per meter persegi. Sedimen Kali Brantas yang dibawa sedikitnya 10 anak sungainya yang bermuara di pesisir Surabaya menambah garis pantai rata-rata tujuh meter per tahun.
b. Reklamasi illegal yang dilakukan oleh penduduk di daerah pantai atau developer yang tidak bertanggung jawab
c. Pendangkalan akibat pembangunan jembatan Suramadu
d. Sedimen yang berasal dari pembuangan lumpur Lapindo melalui Kali Porong

Dari penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

a. Dari tahun 2003 ke 2009, persebaran kelas sedimentasi relatif tetap
b. Persebaran sedimentasi dengan jumlah relatif tinggi berkisar antara nilai 25-125 mg/L
c. Terjadi peningkatan jumlah luasan untuk kelas sedimen menengah, dan penurunan pada kelas sedimen rendah

2.5 Hasil Analisis Perubahan Daratan

Perubahan luas daratan merupakan bukti adanya sedimentasi. Sedimentasi ini dapat mengakibatkan berbagai hal, diantaranya:

a. Berpotensi meningkatkan bahaya banjir di daerah Surabaya dan Sidoarjo karena adanya pendangkalan di daerah hilir.
b. Pendangkalan saluran tambak
c. Perubahan pola arus laut akibat tertahan sedimentasi dapat mempengaruhi salinitas yang mempengaruhi habitat ikan dan makhluk hidup lainnya
d. Merusak ekosistem pantai. Biota-biota perairan dangkal akan kehilangan habitat. Padahal biota laut dangkal merupakan sumber makanan utama ikan-ikan di Selat Madura. Jika hal ini terjadi, maka populasi ikan akan menyusut dan jumlah tangkapan nelayan akan berkurang.
e. Bagi pelayaran, menyempitnya alur yang disebabkan adanya pendangkalan. Hal ini sangat berpengaruh besar untuk kota pelabuhan seperti Surabaya
f. Meningkatnya penduduk ilegal yang mendiami wilayah hasil reklamasi ilegal. Hal ini juga menimbulkan masalah kependudukan, misalnya sengketa tanah oloran.
g. Pemanfaatan daerah sedimentasi untuk penanaman hutan bakau yang dibutukan untuk mendukung ekosistem laut
h. Pemanfaatan daerah sedimentasi untuk ekowisata, misalnya di daerah Wonorejo

Untuk mencegah dampak negatif yang mungkin timbul dari sedimentasi, maka dapat dilakukan hal-hal berikut :

a. Melaksanakan normalisasi sungai dan saluran tambak
b. Pembibitan dan penanaman mangrove di kawasan pantai
c. Pengawasan dan sanksi tegas bagi para pelanggar hukum
d. Penyediaan fasilitas prasarana dasar harus dilakukan untuk mengimbangi penghentian pembangunan pantai dari developer.
e. Koordinasi pemerintah kota dengan pihak BPN dalam pendataan dan peresmian tanah oloran
f. Mengoptimalkan pengelolaan sumber daya (alam dan manusia) dalam pemanfaatan DAS dan kawasan pesisir

2.6 Hasil Analisa Ekosistem Mangrove

Untuk melakukan analisa ekosistem mangrove merupakan salah satu obyek yang dapat diidentifikasi dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Letaknya yang berada pada daerah peralihan darat dan laut memberikan efek

perekaman yang khas jika dibandingkan dengan obyek vegetasi lainnya. Hal ini dilakukan dengan menggunakan data utama citra satelit Landsat7 ETM+ level 1G akuisisi 22 Mei 2003, SPOT 4 level 2A akuisisi 28 Juni 2006 dan SPOT4 level 2A 21 Juli 2009. Serta metode pengolahannya menggunakan formula NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Penggunaan citra satelit ini adalah secara multitemporal, yaitu pada tahun 2003 dengan menggunakan citra Landsat 7 ETM+, 2006 dengan menggunakan citra SPOT4 dan 2009 dengan menggunakan citra SPOT4. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar proses perubahan ekosistem yang terjadi pada daerah pesisir Surabaya-Sidoarjo.

Perubahan ekosistem mangrove berdasarkan citra satelit adalah terjadinya pengurangan luas hutan mangrove sebesar 22.336 Ha pada tahun 2003-2006, akan tetapi pada tahun 2006-2009 terjadi penambahan luas hutan mangrove sebesar 32.865 Ha. Penambahan ini terjadi karena adanya proses sedimentasi yang selalu terjadi pada kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo dan adanya rehabilitasi hutan mangrove. Sedangkan untuk analisa komposisi vegetasi mangrove pada daerah penelitian yakni Tambak Wedi, Wonorejo, dan Porong yang berada pada daerah pesisir Surabaya Sidoarjo ditemukan 13 jenis dari 6 family, yaitu :

1. Famili *Sonneratiaceae*, yaitu *Sonneratia Alba* dan *Sonneratia Casiolaris*
2. Famili *Meliaceae*, yaitu *Xylocarpus Muluccensis*
3. Famili *Myrsinaceae*, yaitu *Aegiceras Floridium* dan *Aegiceras Cornicullatum*
4. Famili *Avicenniaceae*, yaitu *Avicennia Agallocha*, *Avicennia Alba*, *Avicennia Marina*, dan *Avicennia Oficinalis*
5. Famili *Rhizophoraceae*, yaitu *Rhizopora Apicullata*, *Rhizopora Mucronata*, dan *Rhizopora Stylosa*
6. Famili *Euphorbiaceae*, yaitu *Exoecaria Agallocha*

Untuk analisa kerapatan jenis mangrove dapat dikatakan bahwa bahwa pada stasiun Tambak Wedi berada dalam kategori jarang, stasiun Wonorejo berada dalam kategori rapat (sangat padat), dan stasiun Porong berada dalam kategori sedang. Sedangkan analisa tingkat kerapatan vegetasi (Transformasi NDVI) yang didapatkan adalah yaitu mangrove dengan kerapatan jarang, mangrove dengan kerapatan sedang, dan mangrove dengan kerapatan rapat. Nilai negatif adalah nilai lahan yang tidak tertutupi oleh vegetasi yang kemungkinan besar adalah perairan disekitar mangrove atau lahan kosong yang tidak ditumbuhi vegetasi (Kailey, 2008).

III. PENUTUP

Kesimpulan

1. Data lingkungan berdasarkan uji laboratorium menunjukkan bahwa kadar COD dan BOD untuk kualitas air sumur Pemukiman Porong di wilayah yang berjarak 1,709 km dari lumpur mempunyai nilai yang tidak sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan, sementara kualitas air pemukiman di Tanggulangin yang berjarak 2,7 km dari lumpur kadar COD, BOD dan pH nya masih memenuhi standar baku mutu PP no. 82/2001 Kadar COD, BOD dan pH untuk sawah di Porong dengan jarak 1,742 km dari lumpur untuk kualitas air sawah memenuhi standar baku mutu, demikian juga untuk kualitas tanah. Sungai Lokasi Sampel berjarak 1,724 km dari koordinat lumpur yang diambil sampelnya, didapat hasil bahwa ternayat kadar COD melebihi dari baku mutu yang ada, yakni 56,731 mg/L dari toleransi yang hanya sebesar 50 mg/L, hal ini menyebabkan kadar BOD nya juga semakin rendah yaitu hanya berkisar 4,589 mg/L, sehingga kurang baik untuk makhluk hidup atau mikroorganisme air.
2. Dalam kurun waktu sebulan setelah semburan lumpur, 2 kecamatan dengan batas berdekatan dengan pusat semburan telah tergenang lumpur masing-masing untuk Sawah di Porong sebesar 96,198 Ha. Sedangkan di Kecamatan Tanggulangin pemukiman sebesar 4,951 Ha sedangkan untuk sawah sebesar 16,574 Ha yang telah digenangi lumpur. Perubahan peta tutupan lahan dari tanggal 17 Juli 2006 hingga 2 April 2008 terdapat perubahan tutupan lahan yang signifikan, yaitu untuk lumpur terjadi peningkatan sebesar 461,576 Ha atau sekitar 265,49 %, hal ini menunjukkan semakin meluasnya daerah genangan lumpur, sehingga banyak kelas-kelas tutupan lahan yang berkurang. Rata-rata perubahan luasan lumpur yang menggenangi daerah Kabupaten Sidoarjo perbulan, khususnya daerah yang dekat dengan daerah semburan lumpur lapindo dari tanggal 17 Juli 2006 hingga 2 April 2008 adalah 21,97981 Ha perbulan.
3. Prediksi arah aliran lumpur berdasarkan hasil overlay dari peta tutupan lahan dan kontur akan bergerak ke timur arah utara dar pusat semburan (Gempolsari, Glagaharum dan Kalidawir) dan tenggara (Besuki dan Keboguyang). Ini disebabkan daerah timur laut dan tenggara mempunyai ketinggian yang lebih rendah dibandingkan daerah yang lainnya.
4. Berdasarkan data citra ASTER 2005 – 2008, Landsat5 TM 1994, dan Landsat7 ETM+ 2003 Persebaran sedimen di muara kali porong bersifat dinamis. Dipengaruhi oleh faktor musim, pasang surut air laut, arus pasang surut, kontur bathimetri, dan sumber material sedimen.
5. Terdapat lonjakan konsentrasi sedimen di Kali Porong, untuk tahun 1994 – 2005 konsentrasi sedimen berada dalam kelas 50 – 100 mg/l, pada tahun 2006 berada dalam kelas 100-150 mg/l, sedangkan pada tahun 2007 – 2008 berada dalam

kelas >200 mg/l. Perubahan daratan di Pesisir Sidoarjo-Pasuruan, Khususnya Muara Kali Porong mengalami pertambahan daratan setiap tahunnya, dan laju pertambahan daratan tertinggi adalah tahun 2006 – 2007 sebesar 93.298 Ha.

6. Terjadinya pengurangan luas hutan mangrove sebesar 22.336 Ha pada tahun 2003-2006, akan tetapi pada tahun 2006-2009 terjadi penambahan luas hutan mangrove sebesar 32.865 Ha. Penambahan ini terjadi karena adanya proses sedimentasi yang selalu terjadi pada kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo dan adanya rehabilitasi hutan mangrove. Berdasarkan standar kriteria kerapatan dan penutup mangrove menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.201 tahun 2004, dapat disimpulkan bahwa pada stasiun Tambak Wedi berada dalam Kategori Jarang, stasiun Wonorejo berada dalam kategori Rapat (Sangat Padat), dan stasiun Porong berada dalam kategori Sedang. Terdapat 13 jenis mangrove dari 6 family yang berada di Pesisir Surabaya Sidoarjo dan persebarannya merata pada Pesisir Surabaya Sidoarjo. Jenis Avicennia Marina yang paling sering dijumpai pada daerah pesisir ini.

Saran

1. Dilakukan pemantauan kualitas lingkungan secara kontinu dan dengan parameter yang lebih banyak, sehingga diperoleh hasil yang lebih baik. Dalam pembuatan peta tutupan lahan yang bersumber dari citra sebaiknya menggunakan citra yang sama.
2. Untuk mengetahui arah aliran lumpur yang lebih mendetail dipergunakan data kontur yang lebih teliti dan dibuat model simulasi pergerakan lumpur. Adanya pemantauan arah sebaran lumpur lapindo tiap 3 bulan sekali dan dengan menggunakan data yang lebih lengkap (data citra dan data sekunder lainnya, misalnya data deformasi), dapat lebih menunjukkan prediksi arah sebaran dan luasan daerah akibat lumpur lapindo dan diharapkan dapat mengurangi dampak dari luapan lumpur lapindo. Adanya pemantauan zoning daerah-daerah bahaya tiap 3 bulan sekali diharapkan dapat diketahui daerah-daerah yang sudah tidak layak untuk dihuni dan dimanfaatkan oleh masyarakat. Perlu dilakukan kajian ulang dampak pembuangan lumpur ke Sungai Porong untuk mendapatkan alternatif lain agar tidak menimbulkan permasalahan baru baik, teknis, ekonomis, sosial dan budaya.
3. Dengan melihat begitu banyaknya manfaat yang nantinya didapatkan jika menggunakan citra multi temporal, maka diharapkan untuk penelitian yang menginginkan hasil yang lebih teliti dan lengkap, dapat menggunakan citra multitemporal.
4. Di dalam pengolahan data sedimen sebaiknya menggunaan algortima Jing Li (algoritma berbasis nilai reflektansi), karena hasil statistik menyebutkan bahwa nilai algoritma ini lebih mendekati nilai sebenarnya. Di dalam melakukan validasi data lapangan sebaiknya dilakukan pada tanggal saat akuisisi citra, sehingga didapat hasil pemetaan sedimen yang lebih akurat.

Untuk mendapatkan tingkat ketelitian klasifikasi citra yang lebih baik, jangka waktu antara citra (SPOT4 Juli 2009) dan hasil *groundtruth* tidak terlampau jauh mengingat kawasan pesisir khususnya pesisir Surabaya – Sidoarjo relatif cepat mengalami perubahan. Perlu dilakukan sosialisasi tentang pentingnya fungsi dan manfaat ekosisitem mangrove dari berbagai segi sebagai sabuk pengaman maupun sabuk ekonomi, kepada masyarakat pesisir secara kontinyu, demi kelestarian ekosistem mangrove secara berkelanjutan.

IV. DAFTAR PUSTAKA

Advend, Y.K. 2006. *Identifikasi Daerah Abrasi Dan Sedimentasi Di Pulau Bali Dengan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh (Studi Kasus : Muara Perancak, Bali).* Surabaya : Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi.

Bintoro, 1998. *Pencemaran Lingkungan* <URLhttp://geocities.com/bkusumoh/pdf/pencemaran.pdf > Dikunjungi pada tanggal 6 Desember pukul 14.00 WIB

Budhiman, S. 2004. *Mapping TSM Concentrations From Multisensor Satelite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta Indonesia.* Enschede: Msc. Thesis. ITC. Endesche, The Nethrlands.

Budhiman, S. 2005. *Pemetaan Sebaran Total Suspended Matter (Tsm) Menggunakan Data Aster Dengan Pendekatan Bio-Optical Model*. Jakarta: Lembaga Penerbangan dan Antariksa.

Campbell, J.B. 1987. *Introduction to Remote Sensing*. New York-London: The Gullford Press.

Canada Centre of Remote Sensing. 2006. *Fundamental of Remote Sensing*. Canada: CCRS/CCT

Danoedoro, P, 1996. *Pengolahan Citra Digital.* Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Li, J et al. 2008. *Temporal and spatial changes of suspended sediments concentration in Changjiang Estuary using Landsat TM imageries*. MOE Key laboratory of Coastal and Island Development, Nanjing University, Nanjing, P. R. China.

Kailey, Laban. 2008. Analisa Kondisi Ekosistem Mangrove di Pesisir Kepulauan Aru. Surabaya : Pasca Sarjana Teknik Kelautan FTK-ITS.

Kishino, M. 2005. *Retrieval of Chlorophyll a, suspended solids, and colored dissolved*

organic matter in Tokyo Bay using ASTER data. Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan.

Kusumo, Wiadgdo, Juli 2006. *Perbandingan Sistem Penginderaan Jauh Landsat dan SPOT***.** Berita Inderaja LAPAN Volume V, No.9 Juli 2006.

Lemigas. 1997. *Evaluasi Penginderaan Jauh Untuk Studi Dasar Lingkungan Wilayah Kerja Unocal Indonesia Company Kalimantan Timur*. Laporan Akhir. Pusat penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi.

Lillesand T.M., and Kiefer R.W., 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Second Edition, John Wiley & Sons, New York.

Odum, Eugene P. 1993. *Dasar-dasar Ekologi.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

30 STRATEGI PENANGGULANGAN LUMPUR SIDOARJO

I Putu Artama Wiguna, Amien Widodo, dan Tri Dani Widyastuti
Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: artama@ce.its.ac.id

Sudah lebih dari 4 tahun terjadinya semburan lumpur panas di Porong Sidoarjo, namun jumlah lumpur yang disemburkan tidak mengalami penurunan. Daerah yang terkena dampak akibat luapan lumpur semakin meluas. Untuk mengatasinya, tanggul penahan luapan lumpur telah dibuat. Sampai saat ini, ketinggian tanggul sudah mencapai 12 meter.

Hasil pengukuran penurunan dengan GPS telah dilakukan oleh TIMNAS yang dipadukan dengan citra radar ALOS/PALSAR menunjukkan bahwa areal di sekitar pusat semburan telah mengalami penurunan/amblesan dimana di bagian pusat semburan menurunnya lebih cepat di bandingkan di sekelilingnya, seperti corong. Karena semburan masih terus berlangsung maka proses amblesan di sekeliling pusat semburan masih akan terus berlangsung. Perlu diketahui bersama bahwa sumber segala permasalahan ini ada di kedalaman > 3000 meter di bawah tanah, ini berarti kita berhadapan dengan suatu peristiwa yang penuh dengan ketidak pastian, sulit diduga dan susah diprediksi. Probalititas kejadian dan dampak yang ditimbulkannya merupakan faktor yang sangat penting untuk menduga seberapa besar risiko yang akan terjadi.

Dampak yang diakibatkan oleh adanya semburan Lumpur Sidoarjo ini semakin besar dan semakin meluas. Tidak hanya penurunan tanah, dampak lain yang bisa dilihat adalah munculnya semburan baru di sekitar semburan lumpur mulai mengkhawatirkan karena semburan baru tersebut disertai dengan bau dan gas yang mudah terbakar. Semburan baru ini terjadi di luar tanggul atau diluar peta terdampak dan di kawasan perumahan penduduk yang padat. Karena sudah berbahaya dan harus dikelola dengan baik supaya tidak terjadi dampak-dampak yang tidak diinginkan.

Jumlah semburan mulai bertambah di beberapa tempat, sebagian semburan kecil-kecil ada yang berhenti. Semburan yang terjadi baik besar maupun yang kecil yang jumlahnya sampai saat ini tidak kurang dari 180 buah, dan tidak kurang dari 80 semburan masih aktif dan semburan tersebut mengandung diantaranya lumpur, air dan juga gas yang dapat membahayakan lingkungan permukiman (BPLS, 2010). Disamping itu, akibat semburan utama yang masih terus terjadi disertai beban tanggul dan timbulnya semburan lain disekitarnya mengakibatkan terjadinya penurunan dan penggeseran tanah yang dapat merusak bangunan dan fasilitas fisik lainnya. Penurunan dan pergeseran tanah yang terjadi pada tanggul akan dapat mengakibatkan retaknya tanggul utama yang kemudian mengancam desa disekitar tanggul.

Pada pertengahan Juli tahun 2009 terjadi kebakaran pada sebuah rumah di desa Siring Barat yang apinya sulit dipadamkan karena adanya pencemaran gas mudah terbakar. Di lokasi itu juga yaitu di desa Siring Barat terjadi semburan yang menenggelamkan satu rumah penduduk, semburan tersebut masih terus keluar yang bisa berdampak lebih parah terhadap penduduk disekitarnya yang belum dievakuasi sesuai dengan saran tim pada tahun 2008.

Dalam penanggulangan bencana, dimana tujuan utamanya adalah mengurangi risiko yang diakibatkannya, yang dimulai dari identifikasi bahaya/ancaman sampai dengan rencana pengurangan bencana dan alokasi tugas stakeholder. Sampai saat ini Semburan Lumpur Sidoarjo belum dapat diprediksi kapan akan berhenti menyemburkan lumpur. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian strategi penanggulangan dampak Lumpur Sidoarjo.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai tingkat risiko yang terjadi disekitar tanggul lumpur Sidoarjo. Disamping itu, perumusan strategi penanggulangan lumpur Sidoarjo merupakan hasil yang diharapkan.

Hasil penilaian tingkat risiko semburan lumpur ini adalah:

a. Tingkat risiko masing-masing ancaman lumpur Sidoarjo adalah sebagai berikut:
   i. tingkat risiko bubble/bualan paling besar terjadi pada desa Siring (barat) dan Jatirejo (barat), sedangkan desa lainnya mempunyai tingkat risiko sedang
   ii. tingkat risiko penurunan tanah paling parah terjadi pada desa Siring (barat) dan Jatirejo (barat), sedangkan desa lainnya disebelah barat dan utara tanggul, seperti desa: Gedang, Ketapang, Pamotan, Kalitengah, Kalisampurno, Gempolsari dan Glagaharum mempunyai tingkat risiko tinggi, sedangkan yang lainnya disebelah selatan dan timur tanggul dikategorikan mempunyai tingkat risiko sedang.
   iii. tingkat risiko kerusakan bangunan pada desa Ketapang, Siring (barat) dan Jatirejo (barat) dikategorikan mempunyai tingkat risiko sangat tinggi. Dua desa, yaitu Mindi dan Besuki (timur tol) dikategorikan kedalam tingkat risiko tinggi dan desa lainnya masih berada pada tingkat risiko menengah atau sedang
   iv. tingkat risiko pencemaran udara disekitar tanggul porong dikategorikan pada level risiko tinggi. Ada beberapa desa, seperti Siring (barat), Jatirejo (barat) dan Mindi, mempunyai tingkat risiko Sangat Tinggi. Sedangkan desa lainnya diktegorikan pada tingkat risiko menengah
   v. tingkat risiko pencemaran air sumur disekitar tanggul menunjukkan tingkat risiko tinggi, tetapi dua desa di Siring (barat) dan Jatirejo (barat) dimasukkan kedalam kategori sangat tinggi. Sedangkan desa lainnya berada pada kategori tingkat risiko sedang

Dalam penanggulangan semburan lumpur Sidoarjo yang dinamis ini diperlukan beberapa prinsip dasar, yang meliputi:

a. Penyelamatan penduduk dari ancaman dan dampak semburan lumpur, dengan penanggulan dan pengaliran lumpur ke laut atau bahkan kalau bisa penutupan lumpur, harus menjadi prioritas utama dalam penanggulangannya. Hal ini harus menjadi fokus utama, karena banyak penduduk yang permukimannya sudah tenggelam dan tidak layak huni akibat dampak penurunan tanah maupun pencemaran air dan udara.
b. Penyelamatan dan pengembalian fungsi infrastruktur yang terputus ataupun terganggu akibat semburan lumpur ini. Infrasturktur ini sangat penting artinya untuk memperlancar arus barang, jasa dan energi. Terganggunya arus barang dan jasa serta energi ini dapat mengakibatkan penurunan perekonomian wilayah utara dan selatan Sidoarjo.
c. Pulihnya kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat korban lumpur dan masyarkat disekitar tanggul penampung lumpur serta masyarakat Sidoarjo dan sekitarnya.
d. Pengurangan penceraman lingkungan sebagai akibat semburan lumpur, baik berupa pencemaran air permukaan, air tanah, udara, yang berdampak pada kesehatan penduduk dan produktivitas pertanian, peternakan dan perikanan.
e. Penyusunan tata ruang dan wilayah yang dapat mengakomodasikan perubahan konsep wilayah akibat semburan lumpur.

Berdasarkan prinsip dasar penanggulangan lumpur Sidoarjo, perlu dijabarkan berapa kebijakan umum penanggulangan lumpur Sidoarjo dengan memperhatikan luasan daerah yang terkena dampak dan keterbatasan pendanaan. Adapun kebijakan umum tersebut adalah:

a. Menyediakan tempat, sarana dan prasarana penampungan dan pengaliran lumpur yang efektif dan efisien atau bahkan mencari solusi menutup atau menghentikan semburan lumpur.
b. Menyediakan tempat yang layak bagi masyarakat yang terkena dampak lumpur yang dapat berupa pengurangan pencemaran lingkungan, perbaikan sarana dan prasarana permukiman, relokasi penduduk baik secara temporal maupun permanen ke tempat yang aman dan layak. Hal ini bertujuan untuk menyelamatkan jiwa dari ancaman maupun dampak lumpur.
c. Percepatan proses penyediaan jalur angkutan barang dan jasa serta energi ke tempat yang aman dari ancaman lumpur baik berupa jalan, rel kerata api, maupun saluran listrik, air, gas dan telepon.
d. Meningkatkan kemampuan dan mengurangi kerentanan sosial dan ekonomi masyarkat yang terkena dampak untuk menjaga atau meningkatkan tatanan sosial dan ekonomi yang dapat berupa percepatan proses dan pelaksanaan ganti rugi dan bantuan hidup, pelatihan ketenagkerjaan, stimulus usaha, dan penyediaan lapangan kerja.
e. Penyediaan sarana dan prasarana untuk mengurangi penceraman lingkungan dan untuk peningkatan produktivitas pertanian, peternakan dan perikan serta sektor lainnya.
f. Penyediaan tata ruang yang dinamis terhadap perkembangan dampak lumpur Sidoarjo.

Untuk menjabarkan strategi yang dipakai dalam mencapai tujuan dan sasaran tersebut, diringkas seperti pada tabel dibawah ini:

Tujuan	Sasaran	Strategi

Tujuan	Sasaran	Strategi
Mewujudkan infrastruktur distribusi barang, jasa dan energi yang aman dan lancar	○ Lancarnya tranportasi barang, jasa melalui darat, laut dan udara ○ Tersedianya jalur distribusi listrik, air, telpon dan gas	○ Mempertahankan dan mengamankan kondisi dan daya dukung jalan arteri eksisting Porong – Gempol dan rel KA eksisting Porong ○ Meningkatkan kapasitas jalan alternatif Sidoarjo - Krian – Mojosari ○ Membangun jalan arteri baru ○ Membangun jalan tol ○ Merelokasi rel KA ○ Memanfaatkan dermaga Probolinggo ○ Memanfaatkan bandara di Malang dan Jember ○ Menyediakan jalur listrik, air, telpon dan gas
Mengurangi ancaman dan dampak semburan lumpur	○ Terlindungnya penduduk dari ancaman dan dampak lumpur ○ Berkurangnya ancaman dan dampak semburan lumpur ○ Normalnya fungsi kali porong sebagai floodway	○ Membuat rencana penanggulangan bencana dan kontinjensi ○ Mengamankan dan mengalirkan lumpur ○ Mengamankan dan menormalisasikan sungai dan saluran ○ Menampung lumpur di muara kali Porong ○ Mengukur dan memonitor penurunan tanah
Menyediakan Rencana Tata Ruang dan Wilayah yang dinamis dan pemukiman yang layak	○ Terakomadasinya tata ruang dan wilayah yang dinamis ○ Tersedianya pemukiman yang layak	○ Merevisi RTRW ○ Mengkaji dan menyediakan permukiman yang layak ○ Merehabilitasi permukiman ○ Merelokasi permukiman
Memulihkan kehidupan sosial dan ekonomi	○ Tersedianya bantuan sosial dan pemberdayaan masyarakat ○ Terbayarnya jual beli tanah dan bangunan dan properti ○ Pulihnya perekonomian ○ Terlindungnya investasi ○ Terlindungnya penduduk dari gangguan sosial, psikologis dan kesehatan	○ Memberikan bantuan sosial ○ Meningkatkan kapasitas dan pemberdayaan masyarakat ○ Memberikan pelatihan dan modal usaha ○ Mempercepat proses pelunasan jual beli tanah dan bangunan dan properti ○ Menyediakan lapangan kerja dan usaha ○ Memberikan insentif pajak dan jalur distribusi ○ Memberikan pelayanan sosial, kesehatan dan psikologis ○ Kampanye Sidoarjo bangkit
Meminimalkan pencemaran lingkungan	○ pengurangan pencemaran air sungai ○ pengurangan pencemaran air sumur dan air tanah ○ pengurangan pencemaran udara dan gas beracun	○ Merehabilitasi distribusi air dan tambak dan pertanian ○ Mengevaluasi, memonitor dan mengurangi pencermaran air sungai ○ Mengevaluasi, memonitor dan mengurangi pencermaran air sumur dan air tanah ○ Mengevaluasi, memonitor dan mengurangi pencermaran udara dan gas beracun

Dalam perencanaan tindak lanjut, walaupun secara keseluruhan semua sektor harus berjalan secara bersamaan, namun perlu dilakukan upaya pentahapan strategi penanggulangan semburan lumpur, yang meliputi jangka pendek, menengah dan jangka panjang, sebagai berikut:

a. Strategi jangka pendek mempunyai prioritas penyelamatan penduduk dari risiko semburan lumpur dan penyediaan infrasturktur transportasi yang aman dan lancar. Hal ini dapat dilakukan dengan cara:

   i. Melakukan kajian penurunan permukaan dan deformasi geologi, untuk mengetahui daerah yang akan mengalami deformasi atau penurunan tanah, sehingga dapat dipakai acuan untuk menentukan daerah yang terkena dampak dan daerah yang aman. Hasil dari kajian ini dipakai untuk seluruh kegiatan yang berhubungan dengan pembangunan diatasnya, baik untuk relokasi permukiman maupun relokasi infrastruktur.

   ii. Melakukan kajian kelayakan permukiman untuk menentukan daerah yang tidak layak huni, yang akan dipakai sebagai dasar untuk melakukan

evakuasi atau relokasi penduduk ketempat yang aman dalam rangka menghindari dampak korban jiwa, gangguan kesehatan dan psikologi, serta sosial ekonomi.

iii. Pemberian kompensasi baik berupa bantuan sosial maupun penggantian properti warga yang terkena dampak.

iv. Menyediakan relokasi permukiman yang layak bagi penduduk yang terkena dampak.

v. Mengamankan permukiman penduduk dari ancaman semburan lumpur dengan penanggulan dan pengaliran lumpur yang efektif dan efisien.

vi. Percepatan penyediaan infrastruktur transportasi barang dan energi yang aman dan lancar.

b. Strategi jangka menengah mengarah pada pemulihan sosial dan ekonomi serta pengurangan pencemaran lingkungan. Hal ini akan dapat terlaksana dengan baik jika program jangka pendek dapat dilaksanakan dengan baik pula. Hal ini dapat dilakukan dengan cara:

i. Pemberdayaan masyarakat

ii. Pengembangan usaha dan kewirausahaan

iii. Perluasan lapangan kerja

iv. Peningkatan ekonomi daerah dengan adanya infrastruktur dan permukiman yang layak

v. Pengurangan pencemaran lingkungan dengan program perbaikan lingkungan

c. Strategi jangka panjang ditujukan untuk pemulihan lingkungan secara umum dan penyusunan tata ruang dan wilayah yang berbasis mitigasi bencana. Strategi ini merupakan langkah akhir untuk memulihkan lingkungan, setelah pemulihan ekonomi dapat dicapai. Hal ini dilakukan dengan cara:

i. Penyusunan program pemulihan lingkungan;

ii. Penyusunan Rencana Tata Ruang dan Wilayah yang berbasis mitigasi bencana.

ACKNOWLEDGEMENT

Makalah ini merupakan sebagian dari hasil Penelitian Strategi Nasional DP2M Dikti dan Safer Community through Disasater Risk Reduction (SCDRR) . Ucapan Terima Kasih SCDRR dan Dikti.

FAULT TREE ANALYSIS OF WORK ACCIDENT CAUSE FACTORS IN MUD VOLCANO SIDOARJO DISASTER MANAGEMENT

Cahyono Bintang Nurcahyo , Farida Rahmawati , Diar Farobi
1. Civil Engineering Department, FTSP, Institut Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, Indonesia
2. Civil Engineering Department, Institut Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: bintang@ce.its.ac.id, cbintangn@yahoo.com

Abstract – *Disaster Management of Mud Volcano Sidoarjo is an operational field activity that involved a large number of project personnel whom have to overcome potential hazards of work safety. Among 2008-2009 there were 377 cases of work accidents.This research is a descriptive and analytic research. This research's purpose is to identify and analyze the basic events and its combination of work accident cause factors in Mud Volcano Sidoarjo Disaster Management by using Fault Tree Analysis. This research is using work accidents data among 2008-2009 obtained from SHE Department (Safety, Health & Environment Department) of Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS), which classified as Near Miss, Minor Injury, Disabling Injury, Lost Time Accident, Equipment Damaged, and Fatality. Fault Tree Analysis is developed for these six categories. The most frequent accident is categorized as Minor Injury with total 118 accidents. Minor Injury caused by 30 Basic Events based on Fault Tree Analysis, and 20 Basic Events based on MOCUS. Preventive actions for Minor Injury are Safety Induction, providing Safety Equipment, and providing First Aid Kit. Corrective actions for Minor Injury are giving medical treatment, compensation, accident identification, accident investigation, and safety first as soon as possible.*

Keywords : *Fault Tree Analysis (FTA), Method Obtain Cut Set (MOCUS), Mud Volcano Sidoarjo, Work Accident.*

I. INTRODUCTION

1.1. Background

Health & Safety Management is one of critical factors for improving work productivity. Zero Accidents and Zero Losses is the main objective of every performing organization in their business operational. But nowadays, there is still a lot of work accidents happened around the world, especially in construction project.

Disaster Management of Mud Volcano Sidoarjo is an operational field activity that involved a large number of project personnel whom have to overcome potential hazards of work safety. Among 2008-2009 there were 377 cases of work accident, classified as Near Miss, Minor Injury, Disabling Injury, Lost Time Accident, Equipment Damaged, and Fatality.

1.2. Objective

The objective of this research is to identify and analyze the basic events and its combination of work accident cause factors in Mud Volcano Sidoarjo Disaster Management by using Fault Tree Analysis.

II. LITERATURE REVIEW

2.1. Fault Tree Analysis

Fault tree analysis (FTA) is a technique for analyzing, visually displaying and evaluating failure paths in a system, using boolean logic to combine a series of lower-level events.

The Fault Tree Analysis is the translation of the failure behaviour of a physical system into a visual diagram and logic model. (Ericson 1999)

FTA is a top-down analysis. An undesired effect is taken as the root ('top event') of a tree of logic. Then, each situation that could cause that effect is added to the tree as a series of logic expressions.

The Tree is usually written out using conventional logic gate symbols. The primary symbols are typically used as follows:

1. Basic event - failure or error in a system

Sudah Pernah Dipublikasikan di The 3rd International Conference of European Asian Civil Engineering Forum (EACEF) Yogyakarta, 20-22 September 2011

component or element
2. Initiating event - an external event
3. OR gate - the output occurs if any input occurs
4. AND gate - the output occurs only if all inputs occur (inputs are independent)
5. Transfer IN symbol
6. Transfer OUT symbol

The route through a tree between an event and an initiator in the tree is called a Cut Set. The shortest credible way through the tree from fault to initiating event is called a Minimal Cut Set.

2.2. Work Accident

Work accident is an external, unexpected, unintended event, during the execution of work or arising out of it. The accident is a preceding event while the resulting consequences of this event.
There are several factors that cause work accident, based on Reamer (1980) as follows:
1. Direct Cause, consist of:
   a. Unsafe Action
   b. Unsafe Condition
2. Indirect Cause, consist of:
   a. Management
   b. Worker.

III. RESEARCH METHODOLOGY

3.1. Identification

Identify the background and objective of this research.

3.2. Literature Review

Review literatures as a basic theory used in methodology and data analysis of this research.

3.3. Data Collection

This research is using data which obtained from SHE Department (Safety, Health & Environmental Department) of Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS). Types of data used in this research are as follows:
1. Primary Data, by Focussed Group Discussion (FGD), on-site observation, and photo taking.
2. Secondary Data, as work accident data, and HSE Management System.

3.4. Data Analysis

Steps for data analysis in this research are as follows:
1. Collecting data of work accidents in 2008-2009 from SHE Department that classified as Near Miss, Minor Injury, Disabling Injury, Lost Time Accident, Equipment Damaged, and Fatality.
2. Determine Top Event based on Data Collection.
3. Develop Fault Tree Analysis by breakdown every Top Event into several Intermediate Events and Basic Events, and construct a connection among them by using Logic Gate.
4. Implementing MOCUS Analysis.
5. Determine preventive and correction actions.

3.5. Conclusion

Write the conclusions as result from the data analysis above.

IV. DATA ANALYSIS

Data analysis in this research:

1. Collecting data of work accidents in 2008-2009 from SHE Department that classified into 6 (six) categories, as mentioned at Table 1. These six categories are determined as Top Event for an input of Fault Tree Analysis.

Table 1. Work accidents classification.

Work Accident	Frequency
Near Miss	111
Minor Injury	118
Disabling Injury	32
Lost Time Accident	81
Equipment Damage	35
Fatality	0
Total	377

Source: HSE Department, BPLS.

2. Breakdown every Top Event into several Intermediate Events, based on Reamer (1980) as showed at Table 2 as follows.

Table 2. Intermediate Event.

Top Event	Intermediate Event	
Near Miss	Direct Cause	Unsafe Action
		Unsafe Condition
	Undirect Cause	Management
		Worker
Minor Injury	Direct Cause	Unsafe Action
		Unsafe Condition
	Undirect Cause	Management
		Worker
Disabling Injury	Direct Cause	Unsafe Action
		Unsafe Condition
	Undirect Cause	Management
		Worker

Top Event	Intermediate Event	
Lost Time Accident	Direct Cause	Unsafe Action
		Unsafe Condition
	Undirect Cause	Management
		Worker
Equipment Damage	Direct Cause	Unsafe Action
		Unsafe Condition
	Undirect Cause	Management
		Worker
Fatality	Direct Cause	Unsafe Action
		Unsafe Condition
	Undirect Cause	Management
		Worker

3. Breakdown Intermediate Event into Basic Events, based on Focussed Group Discussion with HSE Department. As example, Basic Events of Near Miss are showed at Table 3.

Table 3. Basic events.

Top Event	Intermediate Events	Basic Events 1st Level	Basic Events 2nd Level	Basic Events 3rd Level
Near Miss	Unsafe Action	Untidy equipment Procedure	Large number Risk of equipment position Uncappability of usage No usage instruction	 No signage Less information
	Unsafe Condition	Site's cleaning Zoning and signage On-site Condition	Less cleaning Ignorance Lack of zoning and signage Ignorance Less Lightning Slippery Unhealty enviromental	 Poisonous air Hot mud
	Management	Low Monitoring Socialization Production pressure	Limited personnel Limited time of monitoring Lack of training and induction Lack of zoning and signage Time pressure Work method	
	Worker	In hurry Skill Safety equipment	Lack of concentration Fatiqueness Experience Training background Usage Completeness	Not serious Low motivation Production pressure Stress Unexperienced Need advance course Ignorance Lack of Monitoring Unequipped Worker Limited amount

4. Developing Fault Tree Analysis by construct a connection among every Top Event with Intermediate Events and among Intermediate Events with Basic Events by Logic Gate. For example, Fault Tree Analysis of Unsafe Action at Near Miss category is shown at Figure 1.

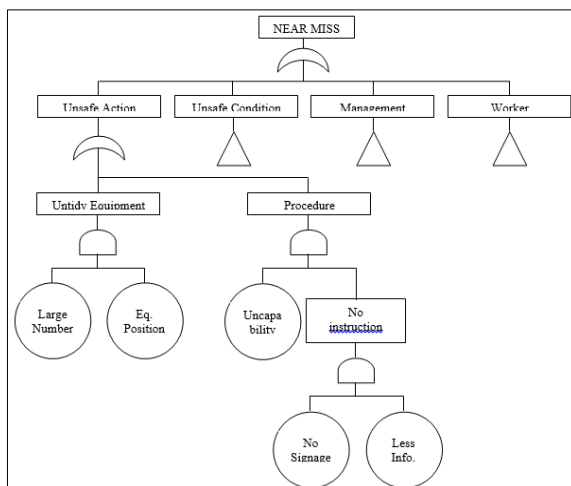



Figure1. Fault Tree Analysis for Near Miss.

5. Implementing MOCUS Analysis. As example, minimum cut set of Basic Events for Near Miss is shown at Table 4.

Table 4. Minimum cut set of Near Miss.

Minimum Cut Set				
1 , 3	6	14	19 , 20 , 21	28 , 27
1 , 4	7	15	22 , 23	29 , 30
2 , 3	8 , 10 , 11	16 , 17	24 , 25	
2 , 4	9 , 10 , 11	~~20 , 21~~	~~28~~	
5	12 , 13	18 , 20 , 21	28 , 26	

6. Determine preventive and corrective action based on Fault Tree Analysis output, generated by Focussed Group Discussion with HSE Department, as shown at Table 5.

Table 5. Preventive and corrective action.

Categories of Work Accident	Preventive Action						Corrective Action					
	Managerial			Technical			Managerial			Technical		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Near Miss	-	√	-	√	-	√	-	-	-	√	√	-
Minor Injury	-	√	-	√	-	√	-	√	√	√	√	√
Disabling Injury	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Lost Time Accident	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Equipment Damage	√	-	√	√	-	√	-	-	-	√	√	-

A. Safety scope D. Equipment G. Insurance Claim J. Identification
B. Induction E. Signage H. Medical Treatment K. Investigation
C. Training F. First Aid Kit I. Compensation L. Safety First

V. CONCLUSION

The conclusion in this research is as follows:

1. There are total 377 work accidents among 2008-2009 which classified into 6 (six) categories. The most frequent accident is categorized as Minor Injury with total 118 accidents. Minor Injury caused by 30 Basic Events based on Fault Tree Analysis, and 20 Basic Events based on MOCUS.
2. Preventive actions for Minor Injury are Safety Induction, providing Safety Equipment, and providing First Aid Kit. Corrective actions for Minor Injury are giving medical treatment, compensation, accident identification, accident investigation, and safety first as soon as possible.

VI. REFERENCES

[1] Ericson, Clifton. (1999). *Fault Tree Analysis - A History*, proceedings of the 17th International Systems Safety Conference.
[2] De Reamer, Russell. (1980). *Modern Safety and Health Technology*. New York. John Wiley & Sons.

THE DECLINE IN HOUSING SUPPLY AFTER THE EMERGENCE OF LAPINDO MUDFLOW DISASTER IN THE PERI URBAN AREAS OF SURABAYA

I Dewa Made Frendika Septanaya[1] dan Putu Gde Ariastita[2]

1. Urban Development Management. Sepuluh Nopember Institute of Technology, Indonesia
2. Urban and Regional Planning, Sepuluh Nopember Institute of Technology, indonesia

Email: frendika@rocketmail.com

Abstract – *The space in peri urban areas always becomes a popular choice for private developers nowadays to build housing in a large scale. The growing number of housing in the peri urban with this large scale commonly termed as invasive formative process. It happens in almost all major cities in the world, as in major cities' peri urban in America, Mexico City, Beijing and even in the peri urban of Jakarta and Bandung. However, a different phenomenon has occurred in the peri urban of Surabaya, particularly in some districts that scattered in Sidoarjo Regency. In 2006-2010, the provision of housing has drastically decreased. The comparison between the target and the development realization of the new housing were less than 50%. The number of developers who were not active even has risen to 132 developers at the end of 2010. This causing an imbalance situation between supply and demand chains because the number of housing needs will reach at least 107.277 units by 2015. A hypothesis that appears as the cause of the problem is caused by the presence of Lapindo mudflow disaster. However, the results of this research have shown that the factors led to the decline in housing provision issues are very complex. Based on the collaboration results between Delphi analysis and geographically weighted regression (GWR), we found that each district has different causes. In general, the factors that cause this problem are due to the stability of the macroeconomic, the difficulties in land acquisition, development impact fees, the high transaction costs, and the direct impact caused by Lapindo mud disaster.*

Kata kunci *: : Periurban phenomenon, Housing decline, Sidoarjo regency*

I. Introduction

Peri urban area is a zone which has a mixture of rural and urban land structure (Yunus, 2008). Meanwhile, Pyor suggests that peri urban areas termed as rural - urban fringe, i.e. the transition area of the land use, the demographic and social characteristics of this region lies between (a) the urban land, the built compact city that combined with the city center and (b) rural land, which there is almost no forms of the urban land and urban settlements. Peri urban areas which have different character between the urbanity and countrylike nature are inseparable from the physical appearance of the urban that spreading outwards or known as urban sprawl (Yunus, 2008). The spreading of urban physical appearance occurs in big cities in the world that led to the expansion of concentration points or activities outside the city's built area.

General trend and phenomena that show the rapid development of the housing area did not happen in the suburban of Surabaya, particularly those in some districts in Sidoarjo. Based on data from the *Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata Ruang Sidoarjo*, the decreasing of housing supply occurred between the period of 2006-2010 and the previous period. In the period of 2001-2005, housing developers managed to build new houses as many as 16,533 housing units. While in the period of 2006-2010, the developers could only build as many as 3,204 housing units. Moreover, from the total of 123 locations permits that have been issued by the Government of Sidoarjo regency, the implementation of housing construction was still less than 50%. This was due to until 2010, the built land were only reached 334.40 hectares whereas 1335.10 ha area were still undeveloped. This condition is further exacerbated by the data showing that the number of housing developers in inactive status until the year 2010 has reached 132 companies.

The decreasing in the number of housing supply problems that occur in Sidoarjo regency of course has implications for the balance between the supply (supply) and the need (demand) for the house.

Housing needs are predicted to continue to increase in line with the average rate of population growth projections in Sidoarjo at 3.53% (RP4D Kabupaten Sidoarjo). In line with this assumption, the RP4D report of Sidoarjo regency also noted that the need for new houses will increase by 107,277 units by 2015.

II. FINDINGS

1.1. Identification of Peri Urban Structures of Surabaya in Several Districts of Sidoarjo Regency

The result of the peri urban structures in each district of Sidoarjo Regency can be seen in the Table 1.

Table 1. The result of peri urban structures in each district of Sidoarjo Regency.

Districts	Percentage of non-agricultural activities	Percentage of agricultural activities	Peri Urban Structures
Sidoarjo	43,11	56,88	Rural – urban fringe zone
Candi	38,17	61,82	Rural – urban fringe zone
Buduran	48,76	51,23	Rural – urban fringe zone
Gedangan	97,56	2,43	Urban fringe zone
Tanggulangin	35,79	64,20	Rural – urban fringe zone
Tulangan	37,74	62,25	Rural – urban fringe zone
Waru	69,82	30,17	Urban-rural fringe zone
Sedati	33,08	66,91	Rural – urban fringe zone
Taman	72,73	27,26	Urban-rural fringe zone
Krian	43,96	56,03	Rural – urban fringe zone
Wonoayu	34,69	65,30	Rural – urban fringe zone
Sukodono	99,74	0,25	Urban fringe zone

The table shows that each district has different physical urban developments. This is because the invasion rate of urban activities depends on the uniqueness of each district location. In general, the uniqueness of location is driven by the influence of factors centrifugal, centripetal and lateral.

Based on land use data in 2009, there are four districts in peri urban areas has grown due to the dominance of housing in a large scale such as Candi, Porong, Sedati, Gedangan and Sukodono. In addition, there are a lot of districts that included in the rural-urban fringe have had housing supply under the average amount of housing realization in the period of 2006-2010. This condition tends to be paradoxical because some districts like Buduran, Candi, Tanggulangin, Tulangan, Wonoayu, and Sedati have a wide availability of vacant land compared to the other zones in peri urban areas of Sidoarjo Regency.

1.2. Factor Linkage Analysis Affecting the Decline in Housing Supply

The first result of geographically weighted regression (GWR) with 90 % significance level (α = 0.10) showed that the factors which cause a decrease in the number of housing supply are air pollution, land prices, poor road conditions and the distance with Lapindo mudflow disaster. Basically, every district has a tendency of different causative factors and can be grouped into three parts. The results can be seen in the table 2.

Table 2. The result of GWR analysis in the first phase.

Group	Districts	Factors that caused the decline in the number of housing supply
I	• Sidoarjo • Candi • Buduran • Tanggulangin • Tulangan • Krian • Wonoayu • Sukodono • Gedangan	• Air pollution • Land prices • Poor road conditions • The distance with Lapindo mudflow disaster
II	• Taman	• Air pollution • Land prices • The distance with Lapindo mudflow disaster
III	• Sedati • Waru	There are no factors that influence the decline in the number of housing supply

The table shows that there are no factors that may influence a decrease in the number of housing supply in group III. This is caused by some of the possibilities that (1) there are several others important factors

which are not considered (missed) by GWR analysis. So, it's necessary to find other new factors which are more relevant as a cause of the decline in the number of housing supply. Then (2) maybe the factors tested at this phase didn't have a high correlation because data issues. Therefore we need a verification test to examine the validity of the GWR results and also to find some factors that are not captured in the previous analysis.

1.3. Verification Test Result

The verification test used a qualitative method of Delphi Analysis. In this phase, the verification test was based on consensus among housing developers in the each district of Sidoarjo Regency. The result found that there are many factors that inhibit the growth of housing supply in the period of 2006-2010. These factors were not only derived from spatial factors such as the high land prices and the direct impact of Lapindo mudflow disaster, but also non-spatial factors like the stability of the macroeconomic, the development impact fees and the high transaction costs.

Table 3. The result of verification test.

Districts	Factors that caused the decline in the number of housing supply
Sidoarjo	Land prices, the limitation of vacant land and the distance with Lapindo mudflow disaster
Buduran	There are no spatial factors that influence the decline in the number of housing supply
Candi	Land prices and the distance with Lapindo mudflow disaster
Wonoayu	Land prices and the limitation of vacant land
Tanggulangin	Land prices and the distance with Lapindo mudflow disaster
Tulangan	Land prices and the distance with Lapindo mudflow disaster
Gedangan	Land prices and the limitation of vacant land
Sukodono	There are no spatial factors that influence the decline in the number of housing supply
Krian	Land prices
Sedati	There are no spatial factors that influence the decline in the number of housing supply
Waru	Land prices
Taman	There are no spatial factors that influence the decline in the number of housing supply
Non-spatial factors	The stability of the macroeconomic, the development impact fees and the high transaction costs

The result of verification test has shown that the factors led to the decline in housing provision issues are very complex. But in general, we can group these factors into four aspects which include the factors of economic, social, environment and bureaucracy.

The economic factors are the problem of high land prices and the instability of macroeconomics. There are two reasons why the land price constantly increased during the period of 2006-2010 due to the direction of Sidoarjo Master Plan (Rencana Tata Ruang Kabupaten Sidoarjo) and the involvement of informal land-brokers. Almost all of housing developers had difficulty to acquire vacant land in accordance with the direction of spatial plan because it didn't fit with their business considerations. It means that there are a lot of allocation space for a new residential development according to the spatial plan has no strategic value for a commercial interest. So this problem has generated a rivalry among the housing developers to obtain the potential land and affected the land owners or land brokers to increase the land prices more than the average of market prices. On the other hand, the instability of macroeconomics have caused by the high interest rates and the increase in cost of construction materials. During the period of 2006-2010, the average interest rate was 15 %. This percentage didn't favourable for prospective buyers because they using a mortgage scheme (Kredit Pemilikan Rumah/ KPR) to buy a new housing. In the same time, the prices of construction materials are constantly increasing. Therefore there are many housing developers made a decision to postpone the new residential development.

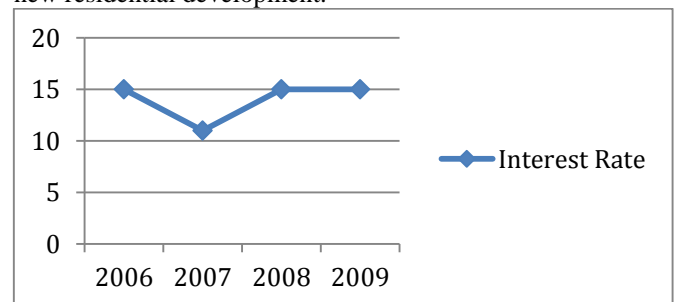



Fig. 1. The average of interest rate in the period of 2006-2010.

Table 4. The Percentage of Building Materials.

Types of Building Materials	The Percentage Increase (%)
Cement	5%-10%
Sand	5%-10%
Bric/clinker	5%-10%
Batu kali	5%-10%
Roof-tile	5%-10%

Wood	5%
Iron	5%-20%
Plywood	5%
Tin roof	7%
Asbestos	5%

Source :The report of Bank Indonesia

In the social context, the development impact fees and the problem of land ownership has an obstacle to the growth of housing provision. The housing developers had provided a big compensation for losses because their activities have caused environmental impacts (cost of dust, health, safety, and the damage to residences). In addition, they also had to build some public facilities for inhabitants around the site project. While the problem of land ownership was related to the administrative problems, such as the status of land ownership didn't clear (double property right, incomplete documents/ certificate of land ownership) and the problem of land dispute. Therefore, these problems had caused the high cost of housing production as well as the length of time to build the new residential areas.

Then environmental factors are composed two problems that are the impact of Lapindo mudflow disaster and the limitation of vacant land. Lapindo mudflow disaster has had some direct impacts such as changes in central banking policy with the letter of Indonesian Bank No.9/11/DKM/BRE/ sb and also the letter of Keputusan Dewan Gubernur Bank Indonesia No.9/7/KEPGBI/2007. These letters contained an order to all of bank in Sidoarjo Regency to prohibit all of new credit transaction (KPR) for prospective buyers and the housing developers who would borrow fresh money to build new residential areas. In addition, the impact of Lapindo mudflow disaster also caused the existing products have not been sold and the psychological impact on consumers. So, the housing developers have chosen to delay some housing projects because they were afraid with unfavourable market situation. Then the scarcity of vacant land in some districts of Sidoarjo Regency was affected by the existence of land monopoly especially from the large companies who led their vacant land for a long time, the decrease of allocation space for new residential areas, and there are a lot of vacant land with the status of "Tanah Kas Desa/ TKD" that couldn't be used for commercial/ business functions.

The last obstacle was bureaucracy issues that related to the permits for new housing project. The housing developers have had to deal with the high transaction costs. In fact, the housing developers must to pay the permit fees up to 3% or even 5 % of the budget total. In addition, there are a lot of informal permit fees that must be paid by the housing developers to speed up the permit process. Then officially, they have also been faced with many steps to get their project permission which has an impact on the length of time. In fact, there are nine permits that must be done by housing developers who will build a new housing development. Basically, the length of time will affect to the cash flow and if it is too long will also result in losses to the company.

1.4. Housing Development Model in Peri Urban Areas of Surabaya

The overall results showed that this study was feasible to use the geographically weighted regression (GWR) modelling. The result of the partial examination at 85 % level of significance (α = 15 %) grouped some districts based on factors that affect the decline in the number of housing provision. The result can be seen in the table 5.

Table 5. The result of GWR analysis.

Group	Districts	Factors that caused the decline in the number of housing supply
I	- Sidoarjo - Candi - Tulangan - Tanggulangin	1. Land prices 2. The distance with Lapindo mudflow disaster 3. Air pollution
II	- Taman - Sedati - Sukodono - Buduran	1. Air pollution
III	- Krian - Wonoayu	1. Land prices 2. The limitation of vacant land 3. Air pollution
IV	- Waru - Gedangan	1. Land prices 2. Air pollution

The table above shows that there are only four districts in Sidoarjo Regency that are affected directly by the existence of Lapindo mudflow disaster. They are the districts of Sidoarjo, Tanggulangin, Tulangan and Candi. While other districts are affected by the problem of land acquisition and air pollution. In addition, the GWR equation models in each district can be seen in the table 7. The table above shows that there are only four districts in Sidoarjo Regency that are affected directly by the existence of Lapindo mudflow disaster. They are the districts of Sidoarjo, Tanggulangin, Tulangan and Candi. While other districts are affected by the problem of land acquisition and air pollution. In addition, the GWR equation models in each district can be seen in the table 6.

The table above shows that the estimated value of each factor to the decrease in the number of housing supply in the period of 2006-2010. For example we can read the "value est GWR" in the district of Sidoarjo, An increase in land price variable (X1) to Rp 100.000/ m2 will reduce the number of housing supply

of 240 housing units. Then an increase in distance to Lapindo mudflow disaster to 1 km, so it will reduce the number of housing supplies as many as 192 housing units. While the other significant factor is air pollution has a relationship as opposed to the reverse. The final result of this research can be seen in the table 7.

Table 6. GWR equation models**.**

Districts	GWR equation models
Sidoarjo	$Y = 0,0024 X1 + 192,01 X2 + 0,31 X3 - 3699,18 X4$
Buduran	$Y = -0,00026 X1 + 69,46 X2 + 0,057 X3 - 2428,93 X4$
Candi	$Y = 0,0070 X1 + 422,43 X2 + 0,48 X3 - 6342,34 X4$
Tulangan	$Y = 0,0077 X1 + 713,21 X2 + 0,38 X3 - 8964,02 X4$
Tanggulangin	$Y = 0,0095 X1 + 524,42 X2 + 0,44 X3 - 7684,75 X4$
Krian	$Y = 0,0070 X1 + 668,32 X2 + 1,47 X3 - 8560,96 X4$
Wonoayu	$Y = 0,0066 X1 + 666,71 X2 + 1,11 X3 - 8495,26 X4$
Taman	$Y = -0,0013 X1 + 192,048 X2 - 0,052 X3 - 3658,06 X4$
Waru	$Y = -0,0016 X1 + 97,64 X2 - 0,18 X3 - 2835,08 X4$
Gedangan	$Y= -0,0016 X1 + 113,45 X2 - 0,14 X3 - 3061,64 X4$
Sedati	$Y = -0,00068 X1 + 11,95 X2 - 0,0056 X3 - 1938,69 X4$
Sukodono	$Y = 0,00018 X1 + 259,62 X2 + 0,11 X3 - 4717,065 X4$

Table. 7. The final result of GWR and Delphi analysis.

Districts	Peri Urban Structures	Result of Delphi Analysis		Result of GWR Analysis
		Spatial Variable	Non Spatial Variable	
Sidoarjo	Rural-urban fringe zone	X1,X2,X3	1. The stability of the macro-economic 2. The development impact fees 3. The high transaction costs	X1,X3
Buduran	Rural-urban fringe zone	X0		X0
Candi	Rural-urban fringe zone	X1,X3		X1,X3
Tulangan	Rural-urban fringe zone	X1,X3		X1,X3
Tanggulangin	Rural-urban fringe zone	X1,X3		X1,X3
Krian	Rural-urban fringe zone	X1		X1,X2
Wonoayu	Rural-urban fringe zone	X1,X2		X1,X2
Taman	Urban-rural fringe zone	X0		X0
Waru	Urban-rural fringe zone	X1		X1
Sedati	Urban-rural fringe zone	X0		X0
Gedangan	Urban fringe zone	X1,X2		X1
Sukodono	Urban fringe zone	X0		X0

- X0 = There are no spatial factors
- X1 = High land prices
- X2 = The limitation of vacant land
- X3 = The distance with Lapindo mudflow disaster

III. CONCLUSIONS

Based on the results of the whole process related to the main purpose of research, it can be concluded that:

- Spatial zone of peri urban areas in each district of Sidoarjo Regency consists of three zones: Rural-urban fringe zone, urban-rural fringe zone and urban fringe zone.
- Spatial factors that caused the decline in the number of housing supply are high land prices, the limitation of vacant land, and the distance with Lapindo mudflow disaster.
- Non-spatial factors that caused the decline in the number of housing supply are the instability of macro-economics, the development impact fees and the high transaction costs.
- The GWR equation models in each district :
  - Sidoarjo: $Y = 0,0024 X1 + 192,01 X2 + 0,31 X3 - 3699,18 X4$
  - Buduran : $Y = -0,00026 X1 + 69,46 X2 + 0,057 X3 - 2428,93 X4$
  - Candi: $Y = 0,0070 X1 + 422,43 X2 + 0,48 X3 - 6342,34 X4$
  - Tulangan: $Y = 0,0077 X1 + 713,21 X2 + 0,38 X3 - 8964,02 X4$
  - Tanggulangin : $Y = 0,0095 X1 + 524,42 X2 + 0,44 X3 - 7684,75 X4$
  - Krian: $Y = 0,0070 X1 + 668,32 X2 + 1,47 X3 - 8560,96 X4$
  - Wonoayu: $Y = 0,0066 X1 + 666,71 X2 + 1,11 X3 - 8495,26 X4$
  - Taman: $Y = -0,0013 X1 + 192,048 X2 - 0,052 X3 - 3658,06 X4$
  - Waru: $Y = -0,0016 X1 + 97,64 X2 - 0,18 X3 - 2835,08 X4$
  - Gedangan: $Y = -0,0016 X1 + 97,64 X2 - 0,18 X3 - 2835,08 X4$
  - Sedati: $Y = -0,00068 X1 + 11,95 X2 - 0,0056 X3 - 1938,69 X4$
  - Sukodono: $Y = 0,00018 X1 + 259,62 X2 + 0,11 X3 - 4717,065 X4$

IV. REFERENCES

Yunus, Hadi Sabari. (2009). Dinamika Wilayah Peri Urban : Determinan Kota Masa Depan. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Peiser, B Richard. (2007). Professional Real Estate Development : The Uli Guide to the Business. Washington : Uli – The Urban Land Institute.

Zhao, Penjun. (2011). Too complex to be managed? New trends in periurbanisation and its planning in Beijing. Beijing: Elsevier.

Winarso, Haryo, Firman Tommy. (2011) Residential land development in Jabodetabek, Indonesia : tringerring economic crisis. Jakarta : Elsevier.

Wardana, Kusuma Inu. (2007) Studi perilaku pengembang dalam pemilihan lokasi dan pembebasan lahan untuk pembangunan perumahan sederhana di kawasan pinggiran timur Kota Bandung. Unpublished.

PEMETAAN RISIKO BENCANA INDUSTRI DI INDONESIA

Alam Baheramsyah, Trika Pitana, Amien Widodo, Tri Dani Widyastuti
Pusat Studi Kebumian Bencana dan Perubahan Iklim, Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya
Email: alam@its.ac.id

Abstrak – *Sektor industri hingga saat ini masih memegang peranan penting khususnya dalam menjaga pertumbuhan ekonomi Indonesia dan penyediaan lapangan kerja. Keberadaan industri yang terus tumbuh selain memberikan dampak positif juga berpotensi menimbulkan ancaman bencana industri. Selama ini, belum ada informasi yang memberikan gambaran utuh tentang ancaman bencana industri di tiap daerah di Indonesia. Sebuah pengkajian risiko tentang potensi bencana industri di Indonesia telah dilakukan. Hasil kajian menunjukkan provinsi/kabupaten/kota mana saja yang masuk dalam kategori risiko tinggi, sedang, ataupun rendah. Provinsi/kabupaten/kota dengan tingkat bencana industri risiko tinggi adalah Provinsi Jawa Timur (Kab./Kota Gresik, Kab. Sidoarjo, Kab. Tuban, dan Kab. Bojonegoro), disusul Provinsi Banten (Kota Cilegon), Provinsi Jawa Barat (Kab. Krawang, Kab. Bekasi, dan Kab. Cirebon) dan Provinsi Kalimantan Timur (Kota Bontang, Kota Balikpapan, Samarinda dan Tarakan). Sedangkan provinsi/kabupaten/kota dengan tingkat bencana industri risiko sedang adalah Provinsi Sumatera Utara (Kab. Deli Serdang, Kota Medan, Kab. Asahan, Kab. Langkat), DKI Jakarta (Wilayah Jakarta Utara), Daerah Istimewa Yogyakarta (Kab. Sleman, Kab. Kulonprogo), Provinsi Jawa Tengah (Kota Semarang, Kab. Klaten, Kab. Banyumas), Provinsi Riau (Kota Pekanbaru, Kota Dumai, Kab. Bengkalis), Provinsi Kalimantan Barat (Kab. Pontianak, Kab. Sekadau), Provinsi Nangro Aceh Darussalam (Kota Lhok Seumawe, Kab. Aceh Utara, Kota Banda Aceh), serta Provinsi Kalimantan Selatan (Kota Banjar Baru). Adapun Provinsi/kabupaten/kota dengan tingkat bencana industri risiko rendah adalah Sulawesi (Kab. Maros), Bali (Kota Denpasar), Maluku (Kota Ambon), dan Papua (Kab. Teluk Bintuni, Kab. Manokwari, Kab. Merauke).*

Kata kunci : bencana industri, peta, risiko, keselamatan.

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data pertumbuhan ekonomi Indonesia tahun 2008 – 2012, besarnya sumbangan dari setiap sektor ekonomi selama lima tahun terakhir diketahui bahwa sektor industri pengolahan menempati posisi pertama dengan struktur sebesar 25,4%. Posisi kedua oleh sektor pertanian sebesar 14,8% baru kemudian sektor perdagangan, hotel, dan restoran sebesar 13,7% yang menempati posisi ketiga (Kemenkeu, 2013).

Data di atas menunjukkan bahwa selama ini sektor industri menjadi sektor signifikan yang memberikan kontribusi terbesar dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia. Secara umum pada tahun 2012 lalu pertumbuhan dari industri pengolahan non-migas saja mencapai 6,5% dengan pertumbuhan tertinggi dicapai oleh industri pupuk dan kimia.

Menurut data dari Biro Pusat Statistik, perkembangan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia tahun 1987 – 2011 menunjukkan jumlah yang terus naik setiap tahunnya. Pada tahun 2012 lalu pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor mencapai 12% yang didominasi oleh mobil penumpang dan sepeda motor. Dengan laju pertumbuhan yang positif dari industri dan kendaraan bermotor serta sektor-sektor lainnya maka selanjutnya akan memaksa sektor industri migas untuk berkembang serta meningkatkan kapasitasnya.

Meningkatnya jumlah industri baik migas maupun non-migas yang terus bertambah setiap tahunnya tentu merupakan sinyal positif bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia. Peningkatan jumlah industri juga memberikan sinyal positif khususnya dalam hal ketersediaan lapangan kerja.

Bagaikan sebuah mata uang yang memiliki dua sisi, peningkatan jumlah industri juga berpotensi memberikan tekanan atau ancaman terhadap lingkungan. Fenomena lumpur Porong di Sidoarjo yang terjadi pada akhir Mei 2006 di lokasi dimana PT. Lapindo Brantas Inc. sedang melakukan kegiatan pengeboran adalah sebuah contoh telak dampak

negatif dari kegiatan industri. Sebuah bencana yang tidak pernah terbayangkan sebelumnya. Umumnya bentuk ancaman bahaya besar dari sebuah kegiatan industri adalah kebakaran, ledakan, atau akibat yang ditimbulkan oleh bahan berbahaya atau beracun namun tidak pernah oleh lumpur.

Beberapa kejadian lainnya dari contoh kasus kecelakaan besar industri di Indonesia adalah : (1) Tanggal 5 Nopember 1993 terjadi kebocoran dan ledakan dari tangki penampung chlorine di PT. Indorayon Utama, Porsea, Kab. Tapanuli Utara, (2) Tahun 1994 terjadi kebocoran amoniak di PT. Pupuk Iskandar Muda, Lhokseumawe, Kab. Aceh Utara, (3) Tahun 1995 terjadi kebakaran dan ledakan dari tangki penimbun bahan bakar minyak di Cilacap, (4) Tanggal 25 Maret 1999 terjadi kebocoran gas amoniak di PT. Ajinomoto, Mojokerto, (5) Tanggal 9 Agustus 2001 terjadi tumpahan tetes tebu di PG. Ngadirejo, Kediri yang kemudian mencemari badan air Kali Brantas mulai dari Kediri hingga Surabaya sejauh 170 km, (6) Tanggal 20 Januari 2004 terjadi ledakan dan kebakaran unit maleic anhydride dan phytalic anhydride di PT. Petrowidada, Gresik, (7) Tanggal 7 Juli 2013 terjadi kebocoran gas sulfur dioksida di PT. Smelting, Gresik.

Industri berikut potensi bencana serta dampak negatif ikutannya adalah sebuah keniscayaan, tidak bisa dihindari apalagi dihilangkan sama sekali. Oleh karenanya strategi untuk mengantisipasi potensi bencana atau dampak negatif dari industri menjadi sangat penting dilakukan. Sehubungan dengan hal ini maka keberadaan atau tersedianya peta risiko bencana industri di Indonesia menjadi sangat krusial.

II. METODOLOGI

Dalam pembuatan peta risiko bencana industri ini telah dilakukan beberapa teknik atau pendekatan utamanya untuk mendapatkan data primer maupun sekunder. (a) Studi literatur digunakan untuk mengkaji berbagai dokumen terkait dengan hasil-hasil penelitian tentang bencana / kecelakaan industri, aturan perundangan, dokumentasi tentang berbagai peristiwa bencana industri baik yang terjadi di dalam negeri maupun di luar negeri. (b) Survey, observasi lapangan dan depth interview ke berbagai lokasi pusat industri dan instansi yang terkait dengan masalah jika terjadi bencana industri. (c) Workshop membahas tentang berbagai pandangan tentang bencana industri dari berbagai elemen masyarakat khususnya para peneliti tentang bencana industri. (d) Focused Group Discussion (FGD) dilakukan dengan mengundang berbagai elemen masyarakat baik dari akademisi, swasta, instansi pemerintahan maupun lembaga swadaya masyarakat (LSM) untuk membahas tema-tema diskusi yang disiapkan berkaitan dengan bencana industri (e) Konsultasi dilakukan untuk mendapatkan pandangan dan kajian yang lebih mendalam dari para akademisi , pakar , dan praktisi tentang bencana industri.

Risiko (R) bencana merupakan fungsi dari bahaya (H), kerentanan (V) dan kemampuan suatu daerah (C). Sehingga, untuk memetakan tingkat risiko bencana industri digunakan rumusan (1) sebagai berikut:

$$R = f(HxV/C) \qquad (1)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

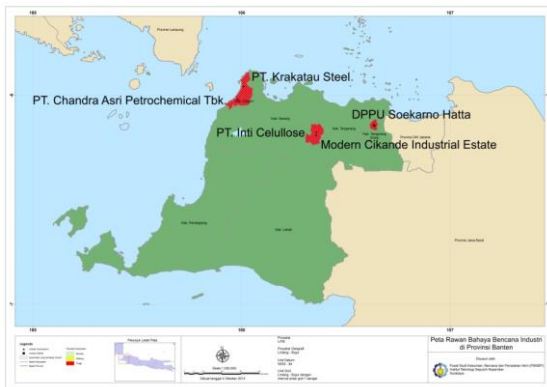
Dalam pembuatan peta risiko bencana industri ini penentuan jenis atau macam dari industri berbahaya besar dilakukan dengan mengacu kepada beberapa dokumen yaitu SK Menperin No. 620/2012 tentang Obyek Vital Nasional Sektor Industri, SK Menteri ESDM No. 3407 K/07/MEM/2012 tentang Obyek Vital Nasional Sektor Energi dan Sumber Daya Mineral, SK Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 187/MEN/1999 tentang Pengendalian Bahaya Kimia Berbahaya di Tempat Kerja, dan Peraturan Menteri LH No. 3/2013 tentang Audit Lingkungan Hidup dimana di dalamnya terdapat jenis/macam usaha dan atau kegiatan berisiko tinggi.

Dari sektor industri beberapa industri yang dinilai memiliki potensi bahaya besar adalah industri bahan peledak, industri logam, industri pertahanan, industri petrokimia, industri pupuk, dan industri-industri yang berada dalam kawasan industri. Kawasan industri dipertimbangkan memiliki potensi bahaya besar karena di dalamnya terdapat beberapa industri yang saling bersebelahan sehingga ada kemungkinan satu peristiwa kecelakaan di satu industri dapat memberikan efek domino (berantai) yang menyebabkan terjadinya kecelakaan di industri sebelahnya.

Di sektor energi dan sumber daya mineral beberapa instalasi yang dinilai memiliki potensi bahaya besar adalah kilang minyak, kilang LPG, kilang LNG, depo BBM, terminal BBM, dan fasilitas-fasilitas pengeboran.

Dari industri yang sudah didefinisikan memiliki potensi bahaya besar, kemudian dilakukan pendefinisian tingkat kerentanan dengan mengacu pada pedoman umum pengkajian risiko bencana, yang sesuai dengan peraturan BNPB. No 02 Tahun 2012. Tingkat kerentanan bencana industri, disesuaikan berdasaran tingkat kerentanan gagal teknologi, yang mengacu pada kepadatan penduduk dan kelompok rentan. Tingkat kerentanan di bagi menjadi tiga kelas indeks, yaitu rendah, sedang dan tinggi, dengan kriteria tingkat kepadatan penduduk secara berurutan adalah <500 jiwa/km2, 500-1000 jiwa/km2 dan >1000 jiwa/km2. Berdasarkan pengelompokan kriteria diatas, kemudian dibuat peta rawan bencana, seperti terlihat pada Gambar 1-6. Dalam hal ini Pulau Jawa menjadi contohnya. Peta rawan ini dikembangkan hanya mempertimbangkan kriteria kerentanan, akan tetapi belum mempertimbangkan kriteria lainnya seperti jenis ancaman, indeks kerentanan fisik, kerentanan ekonomi dan kerentanan ekologi, indeks kerugian dan juga indeks kapasitas.

Berdasarkan peta rawan bencana tersebut, dapat disimpulkan bahwa Provinsi Jawa Barat yang memiliki tingkat kerentanan paling tinggi, dengan jumlah 13 wilayah kecamatan yang mungkin terkena

dampak dari bencana industri dengan tingkat kerentanan tinggi, kemudian diikuti oleh provinsi Banten dengan jumlah 4 wilayah kecamatan yang memiliki kriteria tingkat kerentanan tinggi; Jawa Timur dengan jumlah 7 wilayah kecamatan dengan komposisi 3 kecamatan dengan tingkat kerentanan tinggi, 3 kecamatan dengan tingkat kerentanan sedang dan 1 kecamatan dengan tingkat kerentanan rendah; berikutnya, Jawa Tengah dengan jumlah 3 wilayah kecamatan memiliki kriteria tingkat kerentanan tinggi; DI Jogyakarta dengan jumlah 2 wilayah kecamatan memiliki kriteria tingkat kerentanan tinggi; dan terakhir DKI Jakarta dengan jumlah wilayah 1 kecamatan dengan memiliki tingkat kriteria kerentanan tinggi seperti dijelaskan pada Tabel 1.

Gambar 1. Peta Rawan Bencana Provinsi Banten.

Gambar 2. Peta Rawan Bencana Provinsi DKI Jakarta.

Gambar 3. Peta Rawan Bencana Provinsi Jawa Barat.

Gambar 4. Peta Rawan Bencana Provinsi Jawa Tengah.

Gambar 5. Peta Rawan Bencana Provinsi DI Jogyakarta.

Gambar 6. Peta Rawan Bencana Provinsi Jawa Timur.

Tabel 1. Jumlah daerah rentan di tiap provinsi di Jawa.

No	Provinsi	Jumlah Daerah Rentan	Tingkat Kerentanan		
			Tinggi	Sedang	Rendah
1	Jawa Barat	13	13		
2	Banten	4	4		
3	Jawa Timur	7	3	3	1
4	Jawa Tengah	3	3		
5	DI Jogyakarta	2	2		
6	DKI Jakarta	1	1		

Oleh karena peta di atas dibuat hanya dengan mengacu pada industri atau instalasi yang masuk dalam daftar obyek vital nasional maka agar lebih komprehensif selanjutnya pengkajian risiko terus dilakukan dengan mempertimbangkan sebaran di

masing-masing daerah kabupaten/kota jumlah industri berisiko tinggi yang tidak masuk di dalam daftar obyek vital nasional. Kajian risiko juga dilakukan dengan saling membandingkan masing-masing daerah baik dari aspek kerentanan maupun kapasitasnya. Berdasarkan hasil kajian risiko lebih lanjut maka akhirnya diperoleh atau diketahui urutan prioritas dari tiap provinsi berikut kabupaten/kota yang harus menjadi prioritas utama perhatian dalam hal bencana industri oleh karena masuk dalam kategori risiko tinggi. Begitu pula halnya dengan provinsi/kabupaten/kota yang memiliki tingkat risiko dengan kategori sedang ataupun rendah.

Dengan cara yang sama dilakukan pula pengkajian risiko untuk provinsi-provinsi lain di Indonesia. Pada akhirnya diperoleh hasil kajian risiko sebagai berikut. Provinsi/Kabupaten/Kota dengan tingkat bencana industri masuk kategori **RISIKO TINGGI** yaitu :

1. Provinsi Jawa Timur : Kab./Kota Gresik, Kab. Sidoarjo, Kab. Tuban, dan Kab. Bojonegoro.
2. Provinsi Banten, diprioritaskan pada Kota Cilegon
3. Provinsi Jawa Barat : Kab. Krawang, Kab. Bekasi, dan Kab. Cirebon.
4. Provinsi Kalimantan Timur: Kota Bontang, Kota Balikpapan, Samarinda dan Tarakan.

Provinsi/kabupaten/kota dengan tingkat bencana industri masuk kategori **RISIKO SEDANG** adalah:

1. Provinsi Sumatera Utara: Kab. Deli Serdang, Kota Medan, Kab. Asahan, dan Kab. Langkat
2. DKI Jakarta : Wilayah Jakarta Utara
3. Daerah Istimewa Yogyakarta: Kab. Sleman, Kab. Kulonprogo
4. Provinsi Jawa Tengah: Kota Semarang, Kab. Klaten, Kab. Banyumas
5. Provinsi Riau: Kota Pekanbaru, Kota Dumai, Kab. Bengkalis
6. Provinsi Kalimantan Barat: Kab. Pontianak, Kab. Sekadau
7. Provinsi Nangro Aceh Darussalam: Kota Lhok Seumawe, Kab. Aceh Utara, Kota Banda Aceh
8. Provinsi Kalimantan Selatan: Kota Banjar Baru.

Adapun provinsi/kabupaten/kota dengan tingkat bencana industri dengan kategori **RISIKO RENDAH** yaitu ada di Sulawesi (Kab. Maros), Bali (Kota Denpasar), Maluku (Kota Ambon), dan Papua (Kab. Teluk Bintuni, Kab. Manokwari, Kab. Merauke).

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengkajian pada akhirnya dapat diketahui provinsi/kabupaten/kota mana saja di Indonesia ini yang masuk dalam kategori berisiko tinggi, sedang, maupun rendah dilihat dari sudut pandang risiko bencana industri seperti yang telah dipaparkan pada uraian di atas.

4.2 Ucapan Terima Kasih

Pusat Studi Kebumian Bencana dan Perubahan Iklim, LPPM - ITS mengucapkan banyak terima kasih kepada Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Republik Indonesia atas dukungannya dalam kegiatan penelitian bencana industri ini melalui Kegiatan di Bidang Pengurangan Risiko Bencana Tahun Anggaran 2013.

V. DAFTAR PUSTAKA

Kementerian Keuangan Republik Indonesia (2013) Nota Keuangan dan Rancangan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara Tahun Anggaran 2014

Badan Nasional Penanggulan Bencana(BNPB) (2013), Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.

DELINEATION OF THE AREA OF AVIATION SAFETYAS A FORM OF LAND USE CONTROLAT THE AIRPORT AND SURROUNDING; CASE STUDIES JUANDA AIRPORT IN SURABAYA

Ema Umilia
Urban and Regional Planning department ITS, Surabaya, Indonesia
Email: umilia84@gmail.com

Abstract – *Airport development requires special spatial planning. Airports around the region up to several kilometers, an area that interacts directly with the airport area. So the area of the airport is planning to organize a wider area of the airport area itself. Spatial planning should be based on the safety of airport flight operation as tight control region. Strict control of the region aimed at balancing economic development, social, and environmental. This area is set so that economic development does not negatively impact the environment and the social, minimize threats and disasters by controlling the risk of disaster-prone areas, maintain the function of protected areas in priority protected areas and areas of environmental conservation, as well as maintaining the infrastructure of the region by controlling the function of the surrounding area so as not to interfere these functions.*
Keywords:airport spatial, zoning regulation, aviation safety.

I. INTRODUCTION

The airport is defined as a place or region, on land or in water with certain limits, including buildings and installations, which was built for the movement of aircraft taking off, landing, or movement on the surface (Taxiing) (ICAO,2007). Airport further stipulated in the Regulation of the Minister of Transportation Indonesia No. KM 11/2010 on National Order of airport. National Order of airport is a nationwide system of airport planning airport depicting appropriate spatial planning, economic growth, comparative advantage areas, natural and geographical conditions, the integration of intra and inter-transportation, environmental sustainability, safety and aviation security and integration with other development sectors. This paper aims to identify the delineation of the area around the airport Juanda and identify land use around the airport Juanda as a form of mitigation of the accident flight.

1.5. Preview Juanda Airport and Surrounding Areas

Juanda International Airport, is the international airport serving the city of Surabaya, East Java and surrounding areas. Juanda Airport is located in District Sedati, Sidoarjo regency, 20 km south of the city of Surabaya. The number of passengers using the service at Juanda International Airport reaches 30000-35000 people per day. Juanda International Airport is the second largest and busiest airport in Indonesia after Soekarno-Hatta International airport by aircraft movements and passenger.

Peer-review under responsibility of the Cities International Seminar Committee.

II. METHOD

Methods usedin determining thearea ofaviation safetyJuandadelineationusingmultiplecriterialocation, namely:

- Region consists of Juanda airport terminal I, II and runways
- Aviation Safety Zone (Based on aerodromes Annex 14 Volume I, Fourth Edition, July 2004) consists of regional approaches takeoff, the possibility of a hazard area, the area below the outer horizontal surface, the area below the horizontal surface, the surface area under the cone, below the surface of the transition region and the main surface area.
- Supporting region consists of Juanda Airport flight activity support services, and support services airport activities.
- Affected service area is comprised of the impact of transport activities (point of congestion), and the impact of noise (noise level is determined based on the Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level (WECPNL))

in the delineation process using the technique of mapping a region with techniques superimpose the maps based on the location of the area of flight safety criteria.

III. RESULT

Regions Juanda Surabaya airport aviation safety in superimpose tecnique get from the location of several criteria, namely, Juanda airport area, surrounding area Juanda Airport, Juanda Airport Support Zone and Region Affected Juanda Airport. Of this region

obtained superimpose 4 delineation of tight control region Juanda Surabaya airport. Here are the stages of delineation of the region.

3.1. Airport Area

Juanda Airport area located in District Sedati, with an area of 477.3 ha. Juanda Airport area is classified into 3 parts Terminal I, II and Platform Termimal are represented by the following picture: Juanda Airport area located in District Sedati, with an area of 477.3 ha. Juanda Airport area is classified into 3 parts Terminal I, II and runway are represented by the following picture, fig.1.

Fig. 1. Juanda airport area.

3.2. Aviation Safety Zone (Based on aerodromes Annex 14 Volume I, ICAO (2004))

The airport and the surrounding area is an area that is included in the Flight Operations Safety Zone (KKOP). In in the Regulation of the Minister of Transportation Indonesia No. KM 5/2005: Flight Operations Safety Zone (KKOP) around the Juanda Airport, Surabaya is the land and / or waters and air space around the airport used for flight operations in order mnjamin safety. Where the safety of flight operations in the area around the airport juanda measured and determined the starting point in the Airport Master Plan contained in in the Regulation of the Minister of Transportation Indonesia No. KM 20/2002 on the Master Plan-Surabaya Juanda Airport.

The following overview of the area of aviation safety zone consisting of two regions of Surabaya and Sidoarjo.Types of land use in the region is dominated by settlements, trade and services, agricultural areas and fish pond.

3.3. Supporting region

Under Director General of Civil Aviation Directive Indonesia No. SKEP/47/III.2007 about Business Implementation Support Activities Airport, Airport in the region need to support activities where there are 2 airports auxiliary services that support aviation activities and supporting services of airport activities. Each of these activities include:

- Supporting Services Event Services Flight
  Includes the provision of aircraft hangars, aircraft repair shop, warehousing, aircraft catering services, technical services Aircraft ground handling, passenger services and baggage, and cargo handling. Where all supporting facilities aviation activities contained in the airport area.
- Service Airport Services Allied Activities
  Facility includes hotel accommodation, facilities and restaurant supply stores, motor vehicle placement facilities, the umumnnya care facilities and other facilities that support directly or indirectly to the activities of the airport. Where all the supporting services of airport activity is scattered around the airport juanda . Facility services are growing in the plan in general is tourist accommodation services, such as travel , ticket services, foreign exchange , goods delivery and lodging. These services are widely spread around the area Juanda Airport (Sedatiagung , Sedatigede and Pulungan).

3.4. Affected service area

Regions affected by the airport is the area affected by the existence of Juanda Airport in Surabaya. Where the perceived impact directly or indirectly on the safety of flight operations around the region and outside the region safety of flight operations. Here is the impact resulting from the airport juanda.

Impact of Transportation : What is meant by the impact of transport in this study is the impact of transport generated by comparing the presence or juanda airport , causing congestion and disruption of traffic . Based on field observations and interviews. Point of congestion to and from the Juanda Airport in Surabaya scattered in Sidoarjo and Surabaya are:

- S Parman street, Sidoarjo
- A Yani street, Sidoarjo
- Wadungasri corridor, Sidoarjo
- Letjen Suprapto street, Sidoarjo
- Tropodo street, Sidoarjo
- Pabean street, Sidoarjo
- Nginden street, Surabaya
- Jemur sari-Jemur Andayani- Bundaran Dolog corridor, Surabaya
- A. Yani street, Surabaya
- Rungkut-Rungkut Manunggal street corridor, Surabaya

Impact of Airport Noise in Neighborhoods : Noise is a particular area of the region around the airport affected by aircraft engine sound waves that can interfere with the environment. The noise level is composed of:

- Zone I with noise levels greater than or sarna WECPNL with 70 and smaller75 (70 = WECPNL <75), the soil and the air space that can be used for various types of activities and or building except for the type of building schools and hospitals;
- Zone II noise levels with WECPNL value greater than or equal to 75 and smaller 80 (75 = WECPNL <80), the soil and the air space that can be used for various types of activities and or

building except for the types of activities and / or school building, hospitals and homes.

- Zone III noise levels with WECPNL value greater than or equal to 80 (80 = WECPNL), namely land and air space that can be used to build the airport facilities are equipped with sound insulation and can be used as a green belt or agricultural means of controlling and non-invite birds.

3.5. Delineation of the area of aviation safety

Based on the analysis results superimposed (Juanda airport area, area around the airport Juanda, Juanda Airport Support Zone and Juanda Airport Affected Regions), the coverage area is included in the Flight Operations Safety Zone around Surabaya-Juanda Airport is as follows, see Table 1 and Fig 5:

Table 1. Delineation of the area of aviation safety.

Kawasan	Radius Kawasan	Cakupan Wilayah
Approach and Takeoff area	15 km to the West and East Airport	1) District Sedati:.Sedati Gede, Sedati Agung, Pabean, Banjarkemuning, Gisik Cemandi, Tambak Cemandi 2) District Gedangan:. Semambung, Sawotratap, Bangah, Gedangan, Ketajen. 3) Distict Waru: Kureksari,Waru, Pepelegi, Medaeng 4) Distict Taman: Wage, Bohar, Kedung Turi, Taman, Geluran, Kletek, Kalijaten, Ngelom, Tawang Sari, Krembangan, Gilang, Sambiblu, Jemundo, Sadang, Bringinbendo, Tanjungsari, Trosobo, Sidodadi, Pertapan Maduretno 5) District Sukodono: Sukolegok, Masangan Kulon 6) District Karangpilang: Warugunung
Possible Danger Zone Accidents	3 km to the West and East Airport	1) District Sedati:. Sedati Gede, Sedati Agung, Pabean, Banjarkemuning, Gisik Cemandi, Tambak Cemandi 2) District Gedangan:. Semambung,
Transitional surface	315 m to the north and south of Airport	1) District Sedati:. Pranti, Semampir, Sedati Agung
Under the Horizontal Surface Zone In	Circular 3,685 m to the north and south of the Outer Limits Zone under the Transitional Region	1) District Sedati:. Pabean, Semampir, Pranti, Banjar Kemuning, Segoro, Tambak, Tambak Cemandi, Gisik Cemandi, Cemandi, Kalanganyar, Buncitan, Pepe, Kwangsan, Pulungan, Betro, Sedati Agung 2) District Waru:. Tambak Oso, Tambak Sumur, Tambak Sawah, Tambak Rejo, Wadung Asri, Brebek, Wedoro, Ngingas, Kepuh Kiriman, Tropodo, Kureksari, Janti 3) District Gedangan: Ketajen, Gedangan, Wedi, Gemurung, Punggul, Kranggan 4) District Buduran: Dukuh tengah, Damarsi
Conical surface	2 Km to the North Circular and South of the Border Region under the Outer Horizontal Surface In	1) District Waru:. Janti, Waru, Wedoro, Brebek Industri, Wadung Asri, Kedung Rejo, Bungurasih, Medaeng 2) District Taman:. Sepanjang, Bebekan, Ketegan, Wonocolo, Ngelom, Taman, Kedung Turi, Bohar 3) District Sukodono: Masangan Wetan, Masangan Kulon, Suko Legok 4) District Gedangan: Ganting, Keboan Anom, Keboan Sikep, Sruni, Tebel, Punggul, Karangbong, Kragan, Gedangan 5) District Buduran: Damarsi, Sawohan, Prasung, Wadung Asih, Banjar Sari, Dukuh Tengah, Banjar Kemantren 6) District Sedati: Buncitan, Tambak, Kalanganyar Tambak
Under the Outer Horizontal Surface area.	Circular 9 Km to the north and south from the outer boundary Below Surface Cone Zone	1) District Taman: Kramat Jegu, Sidodadi 2) District Sukodono: Ngares Rejo, Sambung Rejo, Bangsri, Panjunan, Plumbungan, Sukodono, Kloposepuluh, Cangkringsari, Pademonegoro, Pekarungan, Wilayut, Suruh, Jumput, Anggaswangi, Kebonagung, Masangan Wetan, Jogosatru 3) District Buduran: Banjar Kemantren, Sidokepung, Sukorejo, Ental Sewu, Pagerwojo, Sidokerto, Buduran, Siwalan Panji, Sidomulyo, Prasung, Sawahan 4) District Wonoayu: Sawocangkring, Beciro Ngengor, Karang Turi, Mojoagung, Ploso, Lambangan, Wonokasihan, Sumber Rejo, Pilang 5) District Tanggulangin: Banjar Panji, Banjar Sari, Kedung Banteng, Putat, Kalidawir, Penatarsewu, Ngaban, Boro, Ketegan, Kludan, Kali Tengah, Ganggang Panjang, Gempol Sari 6) District Tulangan: Sudirmo, Grogol, Modong 7) District Krian: Jati Kalang

Kawasan	Radius Kawasan	Cakupan Wilayah
		8) Distrik Sidoarjo 9) Sirabaya: District Gayungan, Karangpilang, Jambangan, Lakarsantri, Wiyung, Tenggilis Mejoyo. Wonocolo, Rungkut, Wonokromo, Sukolilo, Dukuh pakis, Gubeng, Sawahan, Sukomanunggal, Mulyorejo, Tegalsari, Genteng, Tambaksari, Bubutan, Kenjeran, Pabean Cantikan.

IV. CONCLUSION

Delineation of the area of aviation safety is needed to identify the area of land use control that may interfere with the safety and aviation security. Control of land at the airport and the surrounding area is very necessary for the continued operation of the airport. Juanda Airport in Surabaya has two delineation of regions in Surabaya and Sidoarjo region, and based on the analysis results obtained flight safety criteria for areas that need to be considered in the development activities of the region. The most dominant criteria are criteria flight operations safety zone (KKOP), and the criteria for the affected area, congestion and noise. So that the necessary directives control the use of space in the form of zoning regulation for further research.

V. ACKNOWLEDGEMENT

Acknowledgements addressed to the public works department in East Java that supports completion of the delineation of area aviation safety at Juanda Airport in Surabaya.

- **VI. REFERENCES**

ICAO (2004), Aerodrome Standards, aerodrome design and Operation, Annex 14 Volume 1. International Civil Aviation Organization

ICAO (2007), Air Traffic Management, Procedure for Air Navigation Services, Doc. 4444, ATM/501. Fifteenth Edition. International Civil Aviation Organization.

Mead and Hunt.(2013), Airport Land Use Compatibility, Chapter 7. Spokone International Airport Master Plan.

Minister of Transportation Indonesia (2010), Regulation of the Minister of Transportation Indonesia No. KM 11/2010 on National Order of airport

Minister of Transportation Indonesia (2005), Regulation of the Minister of Transportation Indonesia No. KM 5/2005: Flight Operations Safety Zone (KKOP) around the Juanda Airport

Minister of Transportation Indonesia (2002), Regulation of the Minister of Transportation Indonesia No. KM 20/2002 on the Master Plan-Surabaya Juanda Airport

Director General of Civil Aviation Directive Indonesia (2010), SKEP/47/III.2007 about Business Implementation Support Activities Airport

IMPROVING RESILIENCE AGAINST URBAN FIRE HAZARDS THROUGH ENVIRONMENTAL DESIGN IN DENSE URBAN AREAS IN SURABAYA, INDONESIA

Prananda Navitas
Dept. of Urban and Regional Planning, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia
Email: : prananda.navitas@gmail.com

Abstract – *How the built environment is designed and built greatly affects its performance in providing livable spaces for its users. Having high population and building density, man-made disasters such as inundation and urban fire remain major threats to Surabaya, Indonesia's second largest city.This paper proposes an approach to improve an urban neighborhood's resilience against urban fires using a design matrix to describe the interaction between Lynch's urban design components and Cai and Wang's idea of Safety-based Urban Design.Paying attention to psychological safety, behavioral safety, defense for safety and safety against disaster in the design and planning of a neighborhood's paths, edges, nodes, districts and landmarks can improve disaster preparedness. A good environmental design can lower urban fire vulnerability, support mitigation efforts and increase disaster preparedness, and make a large difference in the response to an emergency situation. However, to improve overall resilience, both anthropogenic and bio-physic aspects that make up the environment must be acknowledged. Awareness against urban fires must be raised as the physical environment is shaped one component at a time.*

Keywords: urban fire; vulnerability; environmental design; safety-based urban design.

I. INTRODUCTION

Uncontrolled fire remains one of the major causes of death and property damage in today's society (Poerbo, 1998, Schneid and Collins, 2001). Some of the well-known urban fires are the Chicago, Boston, and Baltimore fires that occurred in 1871, 1872, and 1904 respectively (Rosen, 1986). A fire outbreak in a densely built urban area can easily propagate to adjacent buildings one after another. Fire occurrences are responsible for extensive damage on the urban environment and the cause of numerous fatalities (Himoto and Tanaka, 2008).

Though Surabaya is not prone to any natural disasters, the structural processes that accelerate urbanization expose the city to man-made disasters such as inundation and urban fires. The Surabaya Fire Department (SFD) has recorded 4,460 cases between 1996 and 2011, claiming 70 casualties, injuring 179 people, and causing a total of IDR 430,849,500,000.- (approx. USD 37,866,559.44) in property damage. Most of the fires in Surabaya are caused by electrical malfunction. The SFD has classified the 31 districts in Surabaya into five fire risk categories: very high risk, high risk, medium, low risk, and very low risk. In creating these categories, the SFD took the following factors into consideration: population density, building density, fire occurrence data, building/structural conditions, land use intensity, and water availability.

Most parts of Surabaya fall into the very low risk to medium risk categories. The western part of Surabaya is mostly very low risk because population and building density in the area are still low. Medium risk areas are concentrated around the eastern part of Surabaya. Only three districts in the city fall into the very high risk category: Pakis, Ploso, and Tambakrejo.

1.1. *Disaster Management and Environmental Design*

Disaster Management or Emergency Management is understood as a set of inter-connected activities to reduce risk and describing post-disaster strategies towards recovery (Ali and Novogradec, 2008, Dahl, 2011, Khan et al., 2008, Navitas, 2013). The approach includes strategies and activities during the following stages of a disaster or an emergency situation:

- **Pre-disaster** (mitigation and disaster preparedness) – though mitigation and preparedness seem very similar, mitigation relates to activities or measures in avoiding a disaster, or minimizing the damage it causes. Preparedness, on the other hand, contains all activities and measures in case a disaster strikes;
- **During a disaster** (response) – the activities carried out during response are the measures taken during the course of a disaster, or directly after it strikes. The measures here are aimed at reducing casualties and prevent further damages;

- **Post-disaster** (recovery) – once a disaster has seized to occur, efforts to repair the damages and restore the environment to its pre-disaster state can take place. This stage is also known as the 'bounce back' stage.

The activities contained in the stages above are inter-connected to form a cycle because experiences from each stage become input to prepare for further disasters. Documented response experiences will provide valuable input for better mitigation and preparedness which in turn will result in better response.

Fig. 1. Disaster Management Cycle.

The basic intent of urban design is creating places (Carmona and Tiesdell, 2007). With numerous contributing factors, Thwaites et al. (2007) believe a successful urban place is much more a miracle than a goal. Environmental quality is the basic goal of urban design. It is alsothe major deciding factor of the success of urban design(Cai and Wang, 2009). Public safety is a determining factor in defining environmental quality. An urban environment may not be considered a successfully designed space if it cannot guarantee its users' safety despite being aesthetically pleasing.

There lie three opportunities in which environmental design can normatively and creatively intervene in the disaster management cycle:

- **Mitigation**: as fire propagates through convection, conduction, and thermal radiation (Himoto and Tanaka, 2008, Ramli, 2010, Schroll, 2006) the design of the environment should allow some distance between structures, or have a fire-resistant structure erected between them;
- **Preparedness**: having clearly designated escape routes and informative signage will be very helpful for residents of dense urban locales. Fire hydrant posts should also be available throughout vulnerable areas to ensure water availability and fire engine reach;
- **Response**: improve paths on which people and vehicles circulate. Paths or lanes should be physically able to accommodate the width, length, and maneuverability of fire fighting vehicles.

1.2. The existing environment

Modern structures and vast kampung settlements co-exist in the Indonesian urban fabric. The kampung settlements generally manifest and develop incrementally. Narrow alleys and dense built-up area characterize the kampung environment. A fire outbreak can cause extensive damage in a short amount of time (Sufianto and Green, 2012). Spatial plans and strategic management documents exist as non-structural instruments of mitigation thus already covering urban safety aspects (Cai and Wang, 2009). They are, however, often too program-oriented, and acknowledge the distribution of spatial phenomena in a two-dimensional manner only. The built environment in reality is a three-dimensional landscape.

II. BUILT ENVIRONMENT: COMPONENTS

The built environment is a composition of five basic components: paths, edges, nodes, districts, and landmarks (Lynch, 1960).

- **Path** – linear elements that function as a means of movement and circulation. They can be represented by a network of roads, canals, or even railways. To most people, this is the most dominant element in constructing the image of the environment. Paths also work as an element that binds all other components as other components are usually arranged along the network of paths.
- **Edges** – linear elements that do not function as circulatory means. Edges are the border between two or more areas, a linear cut-off, or can be represented by a physical structure.
- **Nodes** – represented by strategic points in the locale. They can be starting points, or points of destination. Nodes can also be intersections where two or more modes of transportation meet (an interchange), or where multiple activities intersect.
- **Districts** – segments of a locale with homogeneity. Having a common, defining characteristic. Districts can be easily identified from zoning maps.
- **Landmarks** – the physical manifestation of a node. They can be represented by a physical structure (building or infrastructure), signage, or geographical features. Landmarks can be located within a locale, or be at a certain distance.

III. UNDERSTANDING SAFETY-BASED URBAN DESIGN

Environmental design should consider the psychological and behavioral aspects as well as other environmental aspects to ensure safety (Cai and Wang, 2009).

- **Psychological safety** – many factors influence the level of psychological safety. It is related to the level of individual privacy and how much control they have over it. According to Lynch (1960) the degree of control people have over the environment is related to their spatial orientation. This is also known as legibility (clarity), where parts of the urban environment can be recognized and organized into a coherent pattern.
- **Behavioral safety** – elements and the configuration of the urban environment may pose physical harm towards its users. Behavioral safety is deeply rooted in environmental behavior science and ergonomics. A more accommodating environment can be achieved by improving form, structure, and function type of the road-surrounding environment landscape.
- **Defense for safety** – spatial configuration affects inappropriate and disruptive behavior to a certain degree. It can encourage, reduce or totally discourage it. Clear division of public and private as well as community surveillance can help protect citizens' safety (Jacobs, 1992).
- **Safety against disaster** – site selection and spatial form of the environment has direct influence on the resistance capability of the environment towards disasters. Before deciding on a location for vital infrastructure, a careful assessment of its future location is important.

IV. PROPOSED DESIGN APPROACH

The proposed design approach uses a design matrix to describe the interaction between environmental design components and safety-based urban design principles.

The matrix serves as an environmental appraisal tool evaluating the existing environmental components and how they cater to the requirements of each aspect of Safety-based Urban Design. Strategies to improve the environment can then be formulated accordingly.

Table 1. Design Matrix.

	Psychological Safety	Behavioral Safety	Defense for Safety	Safety against Disaster
Path				
Edge				
Node				
District				
Landmark				

Table 2. Sample Matrix (Pakis Neighborhood).

	Psychological Safety	Behavioral Safety	Defense for Safety	Safety against Disaster
Path	Improve legibility of path	Improve legibility of path	-	Ensure path is free from obstruction
Edge	-	-	-	-
Node	Ensure path legibility	-	-	Strategic signage placement
District	-	-	-	Increase land use homogeneity
Landmark	Ensure path legibility	Ensure path legibility	Strategic signage placement	Strategic signage placement

An assessment on the Pakis Neighborhood indicates legibility of paths should be improved to increase psychological and behavioral safety. Paths need to also be kept clear to ensure maximum accessibility. This can be achieved by adding landmarks in the form of strategically placed signage to emphasize nodes. Signage placement should not only ensure visual clarity, but also ensure signage safety against possible acts of vandalism.

V. CONCLUSION

The proposed design matrix serves as an environmental appraisal tool for urban designers and decision makers. As it is still in very early stages of development, the matrix still has room for further development. A set of criteria to define a safe environmental design can complement the matrix. Good environmental design can improve resilience by intervening in all stages of an emergency situation. It can support mitigation efforts, while simultaneously increasing disaster preparedness. Environmental design can also make a difference in responding to an emergency situation. A total overhaul of the existing built environment, though possible, is not feasible due to numerous reasons. The most likely approach to improving resilience in urban areas is to acknowledge both anthropogenic and bio-physic aspects that make up the environment. The proposed approach in this paper only focuses on the bio-physical aspect of the built environment. Awareness against urban fires must continue to be promoted as the physical environment is shaped or remodeled one component at a time.

VI. ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express his gratitude to the Institute for Research and Public Outreach ITS (LPPM ITS) for funding the research on urban fires through grant number 013674.212/IT2.7/PN.08.01/2013, the Department of Urban and Regional Planning, and other parties who have supported the author.

VII. REFERENCES

CARMONA, M. & TIESDELL, S. 2007. Urban Design Reader, [s.l.], Elsevier professional.
JACOBS, J. 1992. The death and life of great American cities, New York, Vintage Books.
LYNCH, K. 1960. The image of the city, Cambridge, Mass.[u.a.], MIT PRESS.
POERBO, H. 1998. Utilitas Bangunan, Jakarta, Djambatan.
RAMLI, S. 2010. Petunjuk Praktis Manajemen Kebakaran, Jakarta, Dian Rakyat.
ROSEN, C. M. 1986. The limits of power : great fires and the process of city growth in America, Cambridge [Cambridgeshire] ; New York, Cambridge University Press.
SCHNEID, T. D. & COLLINS, L. 2001. Disaster management and preparedness, Boca Raton, Fla, Lewis Publishers.
ALI, S. H. & NOVOGRADEC, A. 2008. Disasters and Emergency Preparedness. In: ZHANG, Y. (ed.) Encyclopedia of Global Health. Thousand Oaks: Sage Publications.
NAVITAS, P. 2013. Creativity in the Face of Danger: Urban Design as Creative Intervention Measure against Urban Disaster. 23rd Pacific Conference of the RSAI 2013. Bandung, Indonesia.
DAHL, E. L. 2011. The Disaster Management Cycle. Available: www.voadsbc.org/.../Disaster%20Management%20Cycle.doc.
THWAITES, K., ROMICE, O., PORTA, S. & EBRARY INC 2007. Urban sustainability through environmental design : approaches to time - people - and place responsive urban spaces. London: Taylor & Francis.
CAI, K. & WANG, J. 2009. Urban design based on public safety--Discussion on safety-based urban design. Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China, 3, 219-227.
HIMOTO, K. & TANAKA, T. 2008. Development and validation of a physics-based urban fire spread model. Fire Safety Journal, 43, 477-494.
KHAN, H., VASILESCU, L. G. & KHAN, A. 2008. Disaster management cycle - a theoretical approach. Management & Marketing, VI, 43-50.
SCHROLL, C. 2006. The Essentials of Fire Safety. Professional Safety, 51, 42-44.
SUFIANTO, H. & GREEN, A. R. 2012. Urban fire situation in Indonesia. Fire Technology, 48, 367-387.

36 THE DEVELOPMENT OF MOTORCYCLE CRASHES PREDICTION MODEL ON COLLECTOR ROADS BY USING GENERALIZED LINEAR MODELS

Machsus*, Harnen Sulistio, Achmad Wicaksono, Ludfi Djakfar
The Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
Email:frendika@rocketmail.com

Abstract – *The phenomenon of traffic accidents in Indonesia is characterized by the high frequency of traffic accidents and the involvement of motorcycle. The involvement of this type of two-wheeled vehicles is the highest compared to other vehicle types. In addition to arterial roads, the frequency of traffic accidents in urban areas also often occurs on collector roads. This paper will be present the development of prediction model of motorcycle accident on collector roads in Surabaya, Indonesia. This study uses generalized linear model with a Poisson distribution and logarithmic link function approach, as well as the R software applications in the data processing. The locationtaken as a case study is urban roads. In this study, 69 sections of 120 collector roads in Surabaya are chosen. The result of this study indicates that the traffic volume, length of roads, number of access points, and the speed of trafficare significantlyinfluentialin describing a motorcycle accident on collector roads. These findings are expected to help the stakeholders in the field of traffic engineering to overcome the problems of traffic accidents on collector roads in Surabaya and other areas.*

Keywords: Motorcycle accidents, generalized linear models, prediction model, collector roads, traffic flow, length of road, access points, traffic speed.

I. INTRODUCTION

Portrait of road traffic accidents in Indonesia can be seen from the frequency of accidents data,the vehicles involved the number of victims and the material loss. The number of traffic accidents reached 109,776 in 2011, with 239,257 units of vehicles involved and a total of 176,763 victims. Moderate material losses were estimated at Rp 86.09 billion (Directorate General of Land Transportation, 2012). Portrait of road traffic accidents that occur in the city of Surabaya also reflects a phenomenon in Indonesia.Widyastuti (2005) stated that the number of victims of road traffic accidents caused by motor-cycle is higher than other types of vehicles. Motorcycle accident is reported to have the highest proportion compared to other vehicle types, such as in Figure 1 below.

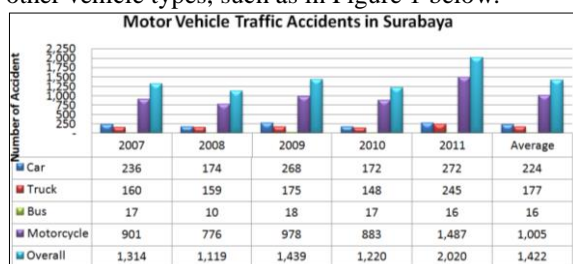
	2007	2008	2009	2010	2011	Average
Car	236	174	268	172	272	224
Truck	160	159	175	148	245	177
Bus	17	10	18	17	16	16
Motorcycle	901	776	978	883	1,487	1,005
Overall	1,314	1,119	1,439	1,220	2,020	1,422

Source: *Traffic Accident Unit, Surabaya Police, Indonesian National Police.*

Fig.1 : Motor Vehicle Traffic Accidents in Surabaya.

Figure 1 shows that from 2007 to 2011, the involvement in various types of motor vehicle accidents in the city of Surabaya on average, as follow: for the type of motorcycle, it was 70.7% (1,005 units), followed by automobiles of 15.8% (224 units), countainer vehicles amounted to 12.5% (177 units), buses by 1.1% (16 units). Although the number is fluctuative, the accidents involving motorcycles in Surabaya from 2007 to 2011 tended to increase with an average growth rate of 17.71% per year.

Furthermore, the portrait of a traffic accident on the highway can be analyzed from several parameters, including: the frequency of incident, the vehicles involved, the number of casualties (death, serious injury, and minor injuries), and the amount of material loss. It also can be seen from the comparison of the level of traffic accidents in the city of Surabaya against accidents that occur in the region of East Java province and nationally in Indonesia, as can be seen in Table 1 below.

Table 1. shows that the rate of traffic accidents in the city of Surabaya is higher than the average rates of the district or city, both nationally and locally in East Java. The high rate of accidents in the city of Surabaya occur in all indicators which include: the frequency of events (3.1 events / day), the vehicles involved (5.5 units / day), the number of victims (1 person dies / day) and loss of material (0.85 billion / year). Similarly, traffic accidents that occur in the province of East Java is also higher than the provincial average rates as well as provincial average rates, nationally.

Table 1. Comparison of rate of traffic accidents in the city of Surabaya, East Java and Indonesia in 2011.

No	Description	Unit	The Accident Scene						Accident Rate Surabaya to:	
			Indonesia (National)[1]	Provincial Ave.	Jatim Province[2]	District Average		Surabaya City[3]		
						National	Provincial		National	Jatim
1	2	3	4	5	6	7	8	9	(9/7)	(9/8)
1	Frequency of incident	incident/year	109,776	2,889	21,989	216.5	578.7	1,119.0	5.2	1.9
		incident/day	301	8	60	0.6	1.6	3.1		
2	Vehicles invelved	unit/year	239,257	6,296	37,208	471.9	979.2	2,020.0	4.3	2.1
		unit/day	655	17	102	1.3	2.7	5.5		
3	Fatalities	person/year	31,185	821	5,499	61.5	144.7	361.0	5.9	2.5
		person/day	85	2	15	0.2	0.4	1.0		
4	Serious injuries	person/year	36,767	968	3,925	72.5	103.3	580.0	8.0	5.6
		person/day	101	3	11	0.2	0.3	1.6		
5	Slight casualties	person/year	108,811	2,863	24,979	214.6	657.3	680.0	3.2	1.0
		person/day	298	8	68	0.6	1.8	1.9		
6	Loss of material	billion Rp.	86.09	2.27	25.10	0.17	0.66	0.85	5.0	1.3

Description:

Average calculation based on the assumption nationally with 34 provinces and 507 districts of the city, as well as 38 cities in the provisional district of East Java

Source:

[1.] Perhubungan Darat Dalam Angka, PDDA Ditjen Hubdat. (2012),
[2.] Traffic Accident Unit,East Java Regional, Indonesian National Police
[3.] Traffic Accident Unit,Surabaya Police, Indonesian National Police

The following isthe comparison rate of traffic accidents in the city of Surabaya on the district/city average rates nationally. The indicator of event frequency shows that traffic accidents in Surabaya is 5.2 times greater than the average value of districts/city average ratesnationally.Meanwhile, theindicatorof vehicles involved in traffic accidents shows that it is 4.3 times greater than the national average rates. Similarly, the indicator of the number of casualties in traffic accidents is 5.7 times greater than the national average rates, whilethe indicator material loss of traffic accidents is 5.0 times greater than the national average rates.

Further discussion is about the results of the comparison rate of traffic accidents in the city of Surabaya on the average rates of the district/city in East Java region. The frequency indicators show that the incidence of traffic accidents in Surabaya is 1.9 times greater than the average rates of the district/city in East Java. The indicators of vehicles involved is 2.1 times greater than the average rates of East Java. Worse than the previous indicators, the indicator of the number of casualties in Surabaya is 3.0 times greater than the average rates of East Java. While the indicator material loss is 1.3 times greater than the average rates East Java.

To estimate the frequency of a motorcycle accident on roads, accident prediction models need to be made. Accident prediction models can also be used to identify and determine the relationship among the factors that influence, such as geometric f, environmental and operational factors(Natalya et al, 2013; Keshavaet al, 2013). In the establishment of motorcycle accident modelling the relationships among the variables that are used need to be considered (Nambuusi et.al. 2008). The outputof accident prediction model developmentis expected to be used in the planning and the implementation of action programs on road safety (Olescenko and Dobromirov, 2013; Davati and Arani, 2012).

Generalized linear models used in the modeling, because the traffic accident data is no longer assumed to be normally distributed. Poisson distribution and the negative binomial distribution are kinds of distribution that is often used in the previous research. In this study,Poisson distribution or negative binomial and logarithmic link function are also used. This is because they are able to describe the distribution of randomly, discretely, and non-negatively, which definitely represent the characteristics of the traffic accidents (McCullagh and Nelder, 1989; Harnen et al, 2006).

II. MATERIAL AND METHODS

The locations of this research are on collector roads in Surabaya, Indonesia. Data collected includes: number of motorcycle accidents, traffic volume, length of roads, number of lanes, number of access points (openings), width of the road, road median, traffic speed, number of directions, and road shoulders. The roadsselected are based on the condition between 2009 and 2012 with following criteria: a. only on collector roads; b. no significant change in characteristics over the study period; c. roads that do not have frontage road; and d. geometric characteristics of each road segment is relatively the same or relatively homogeneous. Based on those criteria, this study selected 69 collector roads in the city of Surabaya

The motorcycle accident data was obtained from the Traffic Accident Unit at Police Regional Directorate of Traffic East Java and Surabaya Police of Indonesian National Police,from 2009 to 2012. Traffic volume data; the speed of the vehicle;

and collector roads geometric acquired by Surabaya City Government Agencies, include: the Transportation Department, Department of Highways, Urban planning and development Office.

The response variable or dependent variable used in this study is the number of motorcycle accidents per year. The explanatory variables include: traffic volume, road length, number of lanes, number of access points, the width of the road, road median availability, traffic speed, the number of direction and road shoulders, as shown in Table 2 below. The explanatory variables were chosen based on the results of the previous studies, but theyare also based on researcher justification by considering observation results on the spot.

Table 2: Descriptions, variable type, factor levels, and coding system of the explanatory variables.

No	Explanatory Variables	Description	Variable Type	Factor Levels	Coding System
1	FLOW	Traffic Flow (pcu/hour)	Continuous		Flow (pcu/hour)
2	LR	Length of Roads	Continuous		LR (m)
3	LN	Number of Lanes	Continuous		LN (lanes)
4	AP	Number of Access Points	Continuous		AP (access points/km)
5	RW	Road Width	Continuous		RW (m)
6	RM	Road Median	Categorical	2	(0) Nonmedian (1) median
7	SPEED	Speed	Continuous		Speed (km/hour)
8	CN	Number of Cariageways	Categorical	2	(1) single cariageway (2) dual cariageway
9	SHDW	Average Shoulder Width	Continuous		SHDW (m)

Motorcycle accident prediction models use generalized linear models approach (GLM) with a Poisson distribution and logarithmic link function. Referring to the earlier traffic accident modeling studies, the theoretical model used in this study, is in the following equation:

$$\mathbf{MCA} = \mathbf{kFLOW}^{\alpha_1}\mathbf{LR}^{\alpha_2} e^{(\beta_1 \mathrm{LN} + \beta_2 \mathrm{AP} + \beta_3 \mathrm{RW} + \beta_4 \mathrm{RM} + \beta_5 \mathrm{SPEED} + \beta_6 \mathrm{CN} + \beta_7 \mathrm{SHDW})}$$

(eq. 1)

Where MCA is the number of motorcycle accidents per year, while the response variable consists of: FLOW, stating the volume of vehicle (pcu / h); LR, which shows the length of the collector road (meters); AP, represent the number of access points per-kilometer; and SPEED is 80 percentile vehicle speed (km / h), and other explanatory variables as in Table 2.

By using a logarithmic transformation, the accident prediction models can be presented in a log-linear version, such as the following equation:

$$\left[\mathrm{Ln(MCA)} = \mathrm{Ln(k)} + \alpha_1 \mathrm{Ln(FLOW)} + \alpha_2 \mathrm{Ln(LR)} + \beta_1(\mathrm{LN}) + \beta_2(\mathrm{AP}) + \beta_3(\mathrm{RW}) + \beta_4(\mathrm{RM}) + \beta_5(\mathrm{SPEED}) + \beta_6(\mathrm{CN}) + \beta_7(\mathrm{SHDW})\right]$$

(eq. 2)

Where "ln (x)" in equation (2) above notation represents the logarithmic-linear version. Function "ln (x)" is expressed as the inverse of the exponential function. In the Eq. 2 and Eq. 3, terms of k, α1, α2, β1, β2, β3, β4, β5, β6, and β7 are coefficients to be estimated, while the term "e" is the error which represents the difference between the actual and predictive models residua.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, this prediction model building is divided into two stages; univariate analysis phase and multivariate analysis phase. For statistical data processing, R Software Ri386.2.15.1 R version is used. Univariate analysis phase is obtained that any explanatory variables that are used to qualify the significance (<0.05), as shown in Table 3 below. This means that each of the explanatory variables is influential to the motorcycle accident whena partial analysis is conducted. Many studies have shown that the tpr. parameter estimates significant at the 95% confidence level, or significance of <0.05 [9, 10]. If there are any parameters of the explanatory variables are not eligible in the significance, then it is removed and will not be involvedanymore in the next analysis phase, such as variable LN, RM and SHDW.

The influence of the explanatory variables simultaneously to the model of accident can be identified by multivariate analysis. In multivariate analysis, it is found that only a few explanatory variables are eligible in the significance (> 0.05), as shown in Table 4 below. Which means, not all explanatory variables that significantly influence the crash model on univariate analysis, also have a significant effect on the results of multivariate analysis.

Table 3: Univariate Analysis of The Terms.

No	Parameter	Estimate	Std. Errors	z value	Pr(>|z|)	Significant at 0.05
1	Intercept FLOW	-12.7638 1.7656	1.2146 0.1515	-10.51 11.65	<2e-16 <2e-16	Yes Yes
2	Intercept LR	-8.81842 1.37222	0.66380 0.08742	-13.29 15.70	<2e-16 <2e-16	Yes Yes
3	Intercept LN	1.06470 -0.02682	0.20382 0.06770	5.224 -0.396	1.75e-07 0.692	Yes No
4	Intercept AP	1.243605 -0.020068	0.130081 0.009039	9.56 -2.22	<2e-16 0.0264	Yes Yes
5	Intercept RW	1.37164 -0.03257	0.19016 0.01543	7.213 -2.111	5.47e-13 0.0348	Yes Yes
6	Intercept RM	0.97495 0.04527	0.08865 0.15820	10.998 0.286	<2e-16 0.775	Yes No
7	Intercept SPEED	-4.544348 0.138799	0.379743 0.008476	-11.97 16.38	<2e-16 <2e-16	Yes Yes
8	Intercept CN	-1.4788 1.3273	0.5447 0.2803	-2.715 4.736	0.00663 2.18e-06	Yes Yes
9	Intercept SHDW	-0.0612 0.76025	0.17120 0.09619	-0.358 7.904	0.72 2.7e-15	No Yes

Table 4: Multivariate Analysis of The Terms.

No	Parameter	Estimate	Std. Errors	z value	Pr(>|z|)	Significant at 0.05
1	Constant	-10.61262	1.28397	-8.265	< 2e-16	Yes
2	FLOW	0.44321	0.19944	2.222	0.0263	Yes
3	LR	0.75662	0.14832	5.101	3.37e-07	Yes
4	AP	0.02005	0.01010	1.985	0.0471	Yes
5	SPEED	0.06378	0.01377	4.631	3.64e-06	Yes

Furthermore, the explanatory variables used in the multivariate analysis results, including: traffic volume, length of roads, number of access points, and the traffic speed. While the explanatory variables which are not eligible in the significance excluded from model building are: variable number of lanes, width of road, road median, number of directions, and the shoulders of the road. So, variables which are simulatanously influential on motorcycle accidents are: traffic volume, length of roads, number of access points, and traffic speed variables.

The estimated value of parameters of all explanatory variables appear in plus mark in Table 4 above. This means that the increase in the rates of traffic volume, length of roads, number of access points, and the speed of traffic is contributing to the rising number of accidents. Furthermore, the final result of the development ofprediction models of motorcycle accidents based on the multivariate analysis produced the following formula:

$$\mathbf{MCA=(0,00000246035x\ Flow^{0.44321}\mathit{LR}^{0.75662}\mathit{e}^{(0.02005\ AP+0.06378\ Speed)})}$$

(eq. 3)

remark:

MCA = the number of motorcycle accidents per year
FLOW = the traffic volume (pcu / hour)
LR = the length of roads (meters)
AP = the number of access points per kilometer
SPEED = the 85 percentile vehicle speed (km / hour)

To examine the final model, comparing the estimated value of the model (fitted value) with the actual data (response) can be done, as shown in Figure 2 below. The results of the model estimation that are close to or in accordance with the actual data of observation results show that the resulting model represents reality occurring on the area.

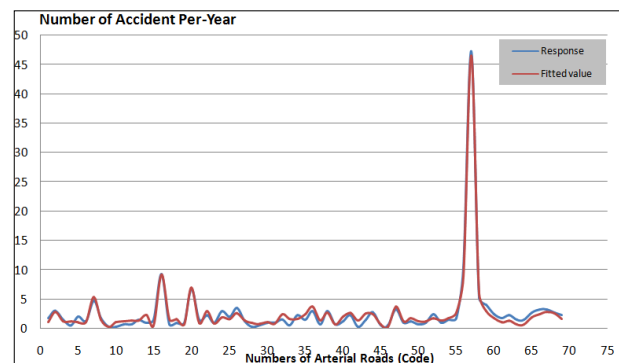



Fig. 2: The Comparison between Model Estimation with Actual Data.

Interpretation

To predict the level of motorcycle accident on collector roads in Jakarta, Indonesia, a final model has been developed, as shown in equation 3. It shows that the volume of traffic, length of roads, number of access points, and traffic speeds significantly influence bicycle accident motors. The resultof this study supportsthe previous studies (Harnen et al, 2006; Xin, 2011; Polus and Cohen 2011; Chengyeand Ranjitkar, 2013; Taylor et al, 2002)

The value of the estimated coefficients, both marked with a plus or minus, shows the influence of each explanatory variable to a motorcycle accident (Harnen et al, 2006). The increase in the value of the variables is contributing to the rising number of accidents when the estimated coefficientsare marked plus. In contrary,the increase in the value of the variable is contributing to the reductionin the number of accidents when the estimated coefficients are marked minus.

If the traffic volume increases on collector roads, the number of motorcycle accidents will also increase. If the traffic volume doubles, then the model would predict an increase in the number of motorcycle accidents by 26.45%. The influence of traffic volume in a motorcycle accident is in accordance with the findings reported in previous studies (Xin, 2011; Polus and Cohen 2011; Chengye and Ranjitkar, 2013).

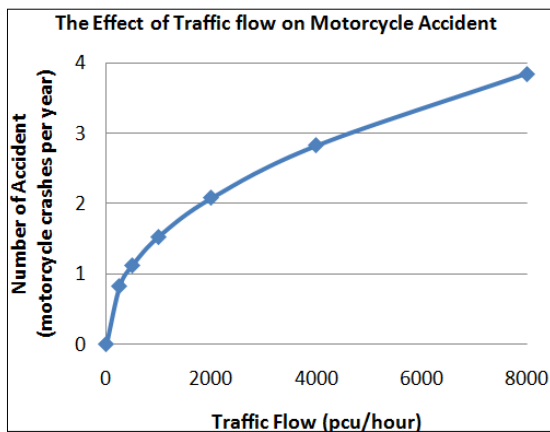



Fig. 3: The Effect of Traffic Flow on Motorcycle Accident.

Each road has a different length. In this model, the difference in the length of roads affects the number of motorcycle accidents. For example, if the length difference between the two streets is twice longer, then the model would predict an increase in the number of motorcycle accidents by 40.8%. The effect of length differenceof collector roadson motorcycle accident is in accordance with the findings reported in previous studies (Chengye and Ranjitkar, 2013).

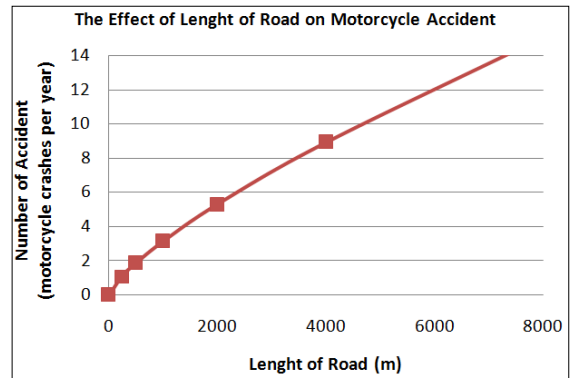



Fig. 4: The Effect of Length of Road on Motorcycle Accident.

The number of access points in each road segment is not the same, there are many roads withmany access points but some have few. In this model,the differences in the number of access points per-kilometer among collector roadscreatethe change in the number of motorcycle accidents. The number of motorcycle accidents will increase by 9.54% in every additional 5 access points per-kilometer on collector roads. The influence of the number of access points in a motorcycle accident is in accordance with the findings reported in previous studies (Olescenko, E. and V. Dobromirov, 2013; Tarko et al, 1999; Levinson, 2000; Papayannoulis et al, 2000).

Lastly, if traffic speed increases, the number of motorcycle accidents will also increase. Any increase in the speed of 5 km/h on collector roads, the number of motorcycle accidents will increase by 27.31% (Ackaah and Salifu, 2011; Taylor et al, 2002).

IV. CONCLUSIONS

Based on the above discussion, it can be concluded, as follows:

1. The final model obtained from the study of the development of prediction models of motorcycle accidents on collector roads is: **(MCA=0,00000246035x Flow$^{0.44321}$** $LR^{0.75662} e^{(0.02005\ AP + 0.06378\ SPEED)}$)
2. The potential of motorcycle accident on collector roads can be explained in this accident prediction models, that is the accident potential is influenced by the volume of traffic (FLOW), the length of roads (LR), the number of access points (AP), and the traffic speed (SPEED).
3. The increase of motorcycle accidents risk on the collector road is caused by the increase of traffic volume, longer road conditions, the higher number of access points per-mile, and the increase of traffic speed

This research has produced several findings that provide information to help stakeholders in the field of traffic engineering to solve problems related to accidents on collector roads in the city of Surabaya

as well as in other cities. However, the use of this final model may only be applicablein the typical traffic conditions in developing countries such as Indonesia, where the proportion of the total motorcycles is by 60% to 80%.

V. REFFERENCES

Ackaah W. and Salifu. M. 2011. Crash prediction model for two-lane rural highways in the Ashanti region of Ghana. IATSS Research, 35 (2011) 34-40

A. Davati, Z. Rahmati and H. V. Arani, 2012. The Factors Related to Tehran Province Traffic Accident Mortalities in 2011, a Descriptive Study, World Applied Sciences Journal 19 (11): 1681-1686, 2012, ISSN 1818-4952, ©IDOSI Publications, 2012.

Chengye P., and Ranjitkar P., 2013. Modelling Motorway Accidents using Negative Binomial Regression, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, 2013

Directorate General of Land Transportation, 2012. Land Transport in Figures. Ministry of Transportation, Jakarta.http://hubdat.dephub.go.id/data-a-informasi/pdda/1416-tahun-2012

G.N. Keshava Murthy and Zaved Ahmed Khan, 2013. Different Techniques to Quantify the Driver Alertness, World Applied Sciences Journal 22 (8): 1094-1098, 2013, ISSN 1818-4952, ©IDOSI Publications, 2013.

Harnen, S. Radin Umar R.S. Wong S.V. and Wan Hasim W.I, 2006. Motorcycle Accident Prediction Models for Junctions on Urban Road in Malaysia. Journal of Advances in Transportation Studies, Section A 8. Hlm 31-40

Levinson, H.S., 2000. Access Spacing and Accidents, A Conceptual Analysis. In Transportation Research Circular E-C019: Urban Street Symposium Conference Proceedings, Dallas, TX, June 28-30, 1999. Washington, DC: TRB, NRC, December 2000.

McCullagh, P. and J.A. Nelder. 1989. Generalized Linear Models, 2nd edition. London, England: Chapman and Hall.

Nambuusi et.al. 2008. A review of accident prediction models for road intersections. Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken – Spoor Verkeersveiligheid, mei 2008. RA-MOW-2008-004

Natalya S.P., Alexandr I.A. and Sergey M.U., 2013, The Influence of Active Safety Characteristics of a Bus on Driver Working Conditions (By the Example of Vladivostok, Russia), World Applied Sciences Journal 26 (3): 318-321, 2013, ISSN 1818-4952, ©IDOSI Publications, 2013.

Olescenko, E. and V. Dobromirov , 2013. Model of the Projected Development of Road Safety in Megapolis (On the Example of Saint Petersburg), World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction): 84-88, 2013, ISSN 1818-4952 ©IDOSI Publications, 2013.

Papayannoulis, V., J.S. Gluck, K. Feeney, and H.S. Levinson. 2000. Access Spacing and traffic Safety. In Transportation Research Circular E-C019: Urban Street Symposium Conference Proceedings, Dallas, TX, June 28-30, 1999. Washington, DC: TRB, NRC, December 2000.

Polus A. and Cohen M. 2011. A new, non-canonical Poisson regression model for the prediction of crashes on low-volume rural roads. IATSS Research, Volume 35, Issue 2, March 2012, pages 98-103.

Tarko, A.P.; Eranky, S.; Sinha, K.C. and Scinteie, R., 1999. An Attempt to Develop Crash Reduction Factors Using Regression Technique. The 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.

Taylor, M.C., A. Baruya, and J.V. Kennedy. 2002. The Relationship Between Speed and Accidents on Rural Single-Carriageway Roads, Report TRL 511. Berkshire, England: TRL Limited.

Widyastuti, H. and Mulley C. 2005. Evaluation of Casualty Cost of Motorcyclist’s Slight Injury in Indonesia, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3497 – 3507.

Xin Pei, S.C. Wong, and N.N.Sze. 2011. A joint-probability approach to crash prediction models. Accident Analysis and Prevention 43, 1160–1166

Z. Sawalha, T. Sayed, Traffic accident modeling: some statistical issues, Canadian Journal of Civil Engineering 33 (2006) 1115–1124

37 GENERALIZED LINEAR AND GENERALIZED ADDITIVE MODELS IN STUDIES OF MOTORCYCLE ACCIDENT PREDICTION MODELS FOR THE NORTH-SOUTH ROAD CORRIDOR IN SURABAYA

Machsus[1], Harnen Sulistio[2], Achmad Wicaksono[3], dan Ludfi Djakfar[4]
1. Civil Engineering Department, Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya
2,3,4. Civil Engineering Department, University of Brawijaya-Malang
Email: machsus@ce.its.ac.id

Abstract – *One of the advances in the development of a model of traffic accidents is indicated by the availability of generalized linear models (GLMs) and generalized additive models (GAMs) in the regression analysis. This paper will discuss the motorcycle accident prediction models using GLMs and GAMs on the north-south road corridor in Surabaya. The first part will discuss the model prediction of traffic accidents, as well as providing a brief review related to the use GLMs and GAMs in building models of accidents. Furthermore, application examples of GLMs and GAMs will be presented. To determine the effect of non-linear in each explanatory variable, smoothing the GAMs will be conducted in each variable gradually. Model diagnostic and intrepretations will be done in the final part. The results of the application of GLMs and GAMs indicates that the development of predictive models of motorcycle accidents with statistical methods can be used to diagnose problems in road safety. GAMs produces better models than the GLMs in which its condition without using the Poisson distribution, as shown in the difference in the value of the model parameter R-sq.(Adj), deviance explained, and the GCV score. By using the Poisson distribution with a log link-function, it appears that GLMs and GAMs produce the same model parameter values.*

Keywords: *Regression Analysis, Generalized linear models, Generalized additive models, Motorcycle accident prediction models, Urban roads, Surabaya.*

I. INTRODUCTION

The study of traffic accidents prediction model continues to develope. Several previous studies that investigated the traffic accident on the road, including: Xie and Zhang (2008) who researched the roads in Toronto, Canada; Sobri (2010) researched a motorcycle accident on the road in Malang; Ackaah and Salifu (2011) who researched the roads in Ghana; and Polus A. and Cohen M. (2011) who researched the roads in Israel; Li, XG, Lord, D., & Zhang, Y. (2011) who evaluated the frontage road in Texas, as well as Machsus et al. (2013) who researched the arterial roads in Surabaya.

Generalized Linear Models (GLMs) is used in the formation of an accident prediction model with data that are not assumed to be normally distributed. GLMs is able to describe the characteristics of traffic accidents, but this method is still considered to have limitations on the assumption of a linear relationship in the explanatory variables used (Machsus, et al., 2013). Generalized Additive Models (GAMs) is introduced to overcome these limitations. GAMs has the ability related to the non-linear relationship in the explanatory variables, and the result of statistical interpretation. So, GAMs offer form of functionality which is more flexible than GLMs in the regression analysis.

The aim of this research to examine the application of GLMs and GAMs in studies of motorcycle accident prediction models on urban roads. This research is to develop a predictive model study of traffic accidents, especially studies related to motorcycle accidents on the north-south road corridor in Surabaya.

II. A LITERATURE REVIEW ON ACCIDENT PREDICTION MODELS

Accident prediction models are used to estimate the frequency of traffic accidents. In addition, it can also be used to identify and determine the relationship among the factors affect such as: geometric, environmental, and operational from the road segments (BB Nambuusi., 2008; Chengye P., and P. Ranjitkar, 2013).

Originally, conventional linear regression approach is often used in the accident prediction modeling. In this approach, the accident data is assumed to be normally distributed with constant variants. But this theoretical distribution assumption cannot represent the distribution of traffic accident data well. Characteristics of traffic accident data are not able to be represented by a

normal distribution, especially time distribution and place of occurrence (Taylor et al., 2002; Harnen S. et al., 2003, 2004, 2005, 2006, 2010).

Finally, the conventional linear regression approach is rarely used in the modeling of traffic accidents. Furthermore, GLMs and GAMs approach is used in the establishment of an accident prediction modeling. Both of these approaches are considered to have advantages compared with conventional linear regression.

2.1 Accident Prediction Models Using GLMs

GLMs method is the development of a linear model, which contains linear predictor component, exponential family distribution and Link-functions. GLMs development was pioneered by Nelder and Wedderburn (1972). GLMs model was developed to resolve existence of irregularities in the variance, or the response does not follow a normal distribution. This linear model uses the assumption that the response has exponential family distributions. Exponential family distribution is the distribution that is more general, such as: the Poisson, negative binomial, and the others (Nelder and Wedderburn, 1972; Mc Cullagh and Nelder, 1989).

GLMs approach used in the modeling of traffic accidents in which in this approach, the data of traffic accidents was no longer assumed to be normally distributed. Distribution which is often used in the modeling of traffic accidents in the previous studies is the Poisson and the negative binomial distribution. Besides the two types of distribution, other distributions are also used: the geometric and logarithmic distribution (Harnen S. et al., 2003, 2004, 2006, 2010; Polus and Cohen, 2011).

The GLMs method with the assumed distribution is able to describe events randomly, discretely, and non-negatively, which are the characteristic of a traffic accident, but this quite popular method is still considered to have limitations. GLMs limitation lies in the assumption of linear relationships among the variables used in the modeling. If the predictive variable relationships with several explanatory variables on the data of traffic accident are non-linear pattern, but assumed to be linear, then the value of the significance of the results of the regression analysis would be reduced. Consequently, the resulting prediction model becomes less realistic (Xie and Zhang, 2008; Li, Lord, & Zhang, 2011).

2.2. Accident Prediction Models Using GAMs

GAMs first developed by Hastie and Tibshirani in 1986. GAMs is the new types of modelling which was introduced in the statistics community to create a model of the observed data (Hastie and Tibshirani, 1990; Wood, 2006, 2003). Accident prediction models are mostly based on the assumption of a linear relationship between the predicted frequency of accidents and some of the explanatory variables, though not all of them are linear. If the predictive variable relationships with several explanatory variables on the data of traffic accident are non-linear pattern but assumed to be linear, then the value of the significance of the results of the regression analysis would be reduced, so that the resulting prediction model becomes less realistic.

To resolve the problem of limited GLMs the usage of neural network and support vector machine, which has a strong ability in a non-linear approach, and does not require a specific form of the function, are proposed. However, both methods are criticized for not presenting an explicit functional relationship and the results of statistical interpretation. Therefore, GAMs was introduced as a new modeling method which has a strong ability to the non-linear approach and it can also show the results of the statistical interpretation. This method offers a more flexible functional form than generalized linear models (GLMs) and it allows to be more adaptive to variable interactions (Xie and Zhang, 2008; Li, Lord, & Zhang, 2011).

GAMs is a statistical method to determine the non-linear relationship between the response variable and the prediction variable (Hastie and Tibshirani, 1990). GAMs is an extension of the additive model by modeling the response variable, as an additive combination of univariate functions of the independent variables. This method can directly accommodate the existence the non-linear influence of the independent variables without having to know the explicit form of influence well (Hastie and Tibshirani, 1990). Thus, in a predictive modeling GAMs is better than the linear regression model when there is evidence of non-linear effect of the independent variables.

GAMs method has also been used in predictive modeling of traffic accidents. Xie and Zhang (2008), was the first to introduce GAMs in predicting the frequency of road accidents. His research results show that the GAMS provide a better ability to the non-linear approach than GLMs that retains the basic framework of GLMs.

According to Li, Lord, & Zhang (2011), although GAMs is more flexible than GLMs but it still has some limitations. Firstly, GAMs covers more parameters, therefore the estimated coefficients can be very complex, especially when the default values in the statistical software package is not used. Secondly, GAMs using smoothing Spline functions, so that it is possible that prediction coefficients cannot clearly presented or defined. Thirdly, the modeling results between GAMs and GLMs tend to be similar if the covariates are completely independent and dependent variables have a linear or exponential relationship with covariates.

GAMs use a smoothing function on each explanatory variable and it is very flexible in

modeling the non-linear relationship (Xie and Zhang, 2008). Smoothing technique was first suggested by Ezekiel in 1941. Smoothing is basically a process which systematically can eliminate rough data pattern or fluctuate and can take data pattern that can be described in general. Non-parametric smoothing technique is used to model the relationship among the variables without assigning specific form of the regression function (Hastie and Tibshirani, 1990).

Smoothing is one of important steps in the estimation of GAMs. This process is necessary to predict the function of the independent variable. Smoother is a tool for summarizing the trend of the response as a function of one or more independent variables (Hestie and Tibshirani, 1990). Smoother does not require strong assumptions about the relationship form of the response variable with independent variables. Therefore, smoother is better known as a tool in a non-parametric regression (Hastie and Tibshirani, 1990).

Smoother has two functions: (1) to description, that a smoother can be used to improve the visual appearance of a scatter diagram of the variable response to the independent variable, so the tendency of the plot can be more precisely determined; and; (2) to estimate the dependence of a response variable to the independent variables (Hastie & Tibshirani, 1990).

III. MATERIALS AND METHODS

Motorcycle accident data are reviewed are that occurred on the north-south road corridor in Surabaya, from Jl. Tanjung Perak to Jl. Achmad Yani. The road corridor is planned to be used as a route for the development of mass transit in Surabaya. The data collected include: number of motorcycle accidents, traffic volume, length of roads, and traffic speed, as in depicted in Table 1 below.

These motorcycle accident data were obtained from the Traffic Accident Unit, Surabaya Police, Indonesian National Police for 2009 to 2012. The traffic volume; vehicle speed, and geometric road were acquired from Surabaya Government Agencies, including: the Transportation Department, Department of Highways, Planning and Urban Development.

Table 3.1. Motorcycle accidents on the north-south road corridor in Surabaya.

No	Road Names	Motorcycle Accident (McA)	Length of Road (LR)	Flow	Speed
1	Jl. Tanjung Perak	10.00	3,918.00	4480	44
2	Jl. Rajawali	3.50	1,180.00	4574	41
3	Jl. Jembatan Merah	0.50	700.00	2225	36
4	Jl. Veteran	1.25	738.00	2720	39
5	Jl. Pahlawan	1.50	1,220.00	5219	39
6	Jl. Kramat Gantung	0.25	600.00	1403	30
7	Jl. Gemblongan	1.25	400.00	3181	45.5
8	Jl. Tunjungan	2.00	910.00	4596	41
9	Jl. Gubernur Suryo	2.50	563.70	5226	45
10	Jl. PB. Sudirman	2.50	2,100.00	5723	36
11	Jl. Urip Sumoharjo	3.00	968.00	8595	38.5
12	Jl. Raya Darmo	23.75	4,056.00	8749	53
13	Jl. Wonokromo	11.25	1,160.00	10338	51
14	Jl. Achmad Yani	54.25	5,835.00	12565	55
15	Jl. Basuki Rahmat	8.50	1,229.00	6980	52.5
16	Jl. Embong Malang	3.75	770.00	6003	42.5
17	Jl. Blauran	2.25	276.00	4022	42
18	Jl. Bubutan	2.50	2,496.00	3482	41
19	Jl. Indrapura	8.75	2,847.00	3448	52

Source: *Traffic Accident Unit, Surabaya Police, Indonesian National Police.*

In this study, two approaches are used: GLMs and GAMs approach. Algorithm flowchart of GLMS and GAMs application can be seen in Figure 1 below. The results of the application of the two approaches are compared, to be known the advantages and disadvantages. For the establishment of accident prediction models, the R software package is used. The R software, is software that is distributed as open source software so that it can be obtained and used for free and it is opens to be modified and developed continuously.

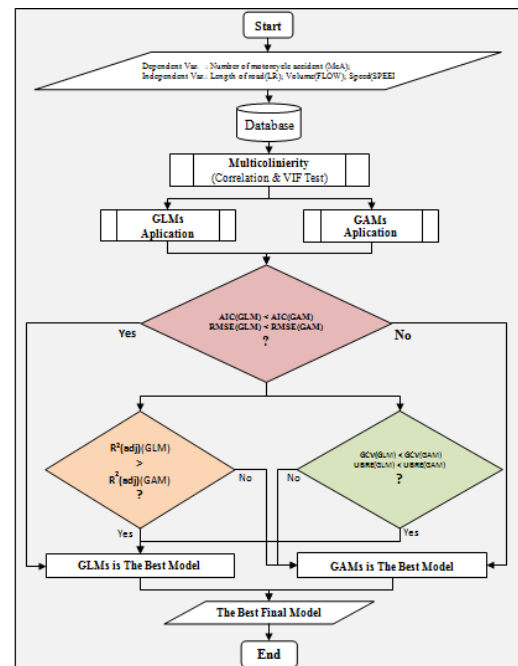



Figure 3.1. Algorithm flowchart of GLMS and GAMs applications.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. An Example of GLM Output

Below is an example of GLM output using the application of the R software package on motorcycle accident prediction models.

```
## Call:
## glm(formula = McA ~ Ln_LR + Ln_FLOW + SPEED, family = poisson(link = log), data = data)
##
## Deviance Residuals:
##      Min        1Q   Median       3Q      Max
## -0.76108 -0.31188 -0.08503  0.20571  1.05877
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value  Pr(>|z|)
## (Intercept) -13.69966    1.71994  -7.965 1.65e-15 ***
## Ln_LR         0.65763    0.14909   4.411 1.03e-05 ***
## Ln_FLOW       0.81236    0.25929   3.133 0.001730 **
## SPEED         0.07792    0.02319   3.361 0.000778 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
##
##     Null deviance: 226.2281 on 18 degrees of freedom
## Residual deviance:   4.1514 on 15 degrees of freedom
## AIC: Inf
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 4
##
## Family: poisson
## Link function: log
##
## Formula:
## McA ~ Ln_LR + Ln_FLOW + SPEED
##
## Parametric coefficients:
##              Estimate Std. Error z value  Pr(>|z|)
## (Intercept) -13.69966    1.71994  -7.965 1.65e-15 ***
## Ln_LR         0.65763    0.14909   4.411 1.03e-05 ***
## Ln_FLOW       0.81236    0.25929   3.133 0.001730 **
## SPEED         0.07792    0.02319   3.361 0.000778 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.99   Deviance explained = 98.2%
## UBRE score = -0.36046  Scale est. = 1     n = 19
```

Based on the GLM output, motorcycle accident prediction models can be formulated, as follows:

Ln(McA) =
$$\mathbf{Ln(k)+\alpha_1 Ln(LR)+\alpha_2 Ln(FLOW)+\beta_1(SPEED)} \quad \textbf{(1)}$$

antilog in formula = power(2.718281828459,number)

$$\mathbf{Ln(McA) = ln(k)+0.65763\ ln(LR)+0.81236\ ln(FLOW)+0.07792(SPEED)} \quad \textbf{(2)}$$

$$\mathbf{McA = k\ LR^{\alpha_1} FLOW^{\alpha_2}\ e^{\beta_1 SPEED}} \quad \textbf{(3)}$$

$$\mathbf{McA = 0{,}00000112\ LR^{0.65763} FLOW^{0.81236} e^{0.07792\ SPEED}} \quad \textbf{(4)}$$

k = antilog(-13.69966)

remark:
MCA = the number of motorcycle accidents per year
FLOW = the traffic volume (pcu / hour)
LR = the length of roads (meters)
SPEED = the 85 percentile vehicle speed (km / hour)

4.2. An Example of GAMs Output

Below is an example of GAMs output using the application of the R software package on motorcycle accident prediction models.

```
## Family: gaussian
## Link function: identity
##
## Formula:
## McA ~ Ln_LR + Ln_FLOW + s(SPEED)
##
## Parametric coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  -32.426     16.448  -1.971  0.0814 .
## Ln_LR          2.355      1.121   2.100  0.0664 .
## Ln_FLOW        2.745      1.824   1.505  0.1680
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Approximate significance of smooth terms:
##            edf  Ref.df     F  p-value
## s(SPEED) 7.343  8.086 20.77 2.07e-07 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## R-sq.(adj) =  0.958  Deviance explained =   98%
## GCV score = 14.532  Scale est. = 6.6214   n = 19
```

Based on the GAMs output, motorcycle accident prediction models can be formulated as follows:

Ln(McA) =
$$\mathbf{Ln(k)+\alpha_1 Ln(LR)+\alpha_2 Ln(FLOW)+s(SPEED)} \quad \textbf{(5)}$$

k = antilog(-32.426)

antilog in formula = power(2.718281828459, number)

$$\mathbf{Ln(McA) = ln(k) + 2.355\ ln(LR) + 2.745\ ln(FLOW) + s(SPEED)} \quad \textbf{(6)}$$

$$\mathbf{McA = k\ LR^{\alpha_1} FLOW^{\alpha_2}\ e^{s(SPEED)}} \quad \textbf{(7)}$$

$$\mathbf{McA = 0{,}00000827\ LR^{2.355} FLOW^{2.745} e^{s(SPEED)}} \quad \textbf{(8)}$$

remark:
MCA = the number of motorcycle accidents per year
FLOW = the traffic volume (pcu / hour)
LR = the length of roads (meters)
SPEED = the 85 percentile vehicle speed (km / hour)

To determine the effect of non-linear in each explanatory variable, then the smoothing is done in stages and performed on each variable. Furthermore, smoothing is done on more than one independent variable, or on all the variables, especially the independent variable that has a quite large a non-linear effect.

4.3. Model Comparison

The diagnosis of accident prediction models resulting from the application of GLMs and GAMs can be done by observing the changes in the model parameter values. Table 2 shows the values of R-sq.(Adj), deviance explained, GCV score and UBRE score, both in the condition of without and with using the Poisson distribution.

In conditions without using the Poisson distribution or following the default distribution on R software, different model parameter values between GLMs and GAMs are obtained. For example, in the parameters of R-sq.(Adj) the value obtained is 0.554 for GLM, and the value range of 0925-0964 for GAMs. The same thing also applies to the parameters of deviance explained and the GCV score. This means that the motorcycle

accident prediction models generated using GAMs is better than using GLMs.

Table 4.1. Model Comparison between Using GLM and GAMs.

Model Parameters	GLM	GAMs with Spline Smoothing		
		SPEED	FLOW	LR
Without Using The Poisson Distribution				
R-sq.(adj)	0.554	0.958	0.925	0.964
Deviance explained	62.90%	98.00%	96.60%	98.10%
GCV score	90.051	14.532	28.323	11.271
By Using The Poisson Distribution				
R-sq.(adj)	0.99	0.99	0.99	0.99
Deviance explained	98.20%	98.20%	98.20%	98.20%
UBRE score	-0.3605	-0.3605	-0.3605	-0.3605

Meanwhile for the condition by using the Poisson distribution on the execution of the R software the same model parameters value is obtained, both for the GLM and GAMs. For instance, in the parameters of the R-sq.(Adj) the value obtained is 0.99 for the GLM and GAMs. The same thing also applies to the parameters of deviance explained and UBRE score. After using the Poisson distribution with a log link-function, motorcycle accident prediction models generated using GAMs turned out to be no better than using GLM, or the result is the same. The result of this study confirmed the findings in the previous studies (Xie and Zhang, 2008; Li, Lord, & Zhang, 2011).

The results of the GLM and GAMs application are interesting to be discussed because of both approaches yield the same values of model parameters when Poisson distribution with a log link-function is used. This occurs because the use of the Poisson distribution with a log link-function is expected to reduce the influence of non-linear independent variables. Moreover, it also shows that the distribution of motorcycle accident data in this case follows the Poisson distribution. Clearly, non-linear effect of independent variables is reduced or gone, because the choice of distribution used is in accordance with the data distribution. The findings of this study contradict the findings of previous studies (Xie and Zhang, 2008; Li, Lord, & Zhang, 2011).

V. CONCLUSION

Based on the above discussion, it can be concluded that:

1. Motorcycle accident prediction models generated by using GAMs is better than using GLM in which the conditions is without using the Poisson distribution as indicated by the differences in the model parameter values for the R-sq.(Adj), deviance explained, and the GCV score.
2. After a Poisson distribution with a log link-function is used in the model building process motorcycle accident using GLM and GAMs, it appears that both produce the same model parameter values.

In the model building process, non-linear effect on the independent variables can be reduced or gone because of the selection of the Poisson distribution with a log link- function is compatible with the distribution of motorcycle accident data in this case.

VI. REFERENCES

Ackaah W. and Salifu. M. 2011. Crash prediction model for two-lane rural highways in the Ashanti region of Ghana. IATSS Research, 35 (2011) pp 34-40.

Chengye P., and Ranjitkar P., 2013. Modelling Motorway Accidents using Negative Binomial Regression, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 9.

Harnen, S. Radin Umar R.S. Wong S.V. and Wan Hasim W.I, 2006. Motorcycle Accident Prediction Models for Junctions on Urban Road in Malaysia. Journal of Advances in Transportation Studies, Section A 8. page 31-40

Hastie, T. J., & Tibshirani, R. J. 1990. Generalized Additive Models. New York: Champman and Hall.

J.A. Nelder and R.W.M. Wedderburn. 1972. Generalized linear models. J.R.Statist.Soc., 57:359–407.

Li, X. G., Lord, D., & Zhang, Y. 2011. Development of Accident Modification Factors for Rural Frontage Road Segments in Texas Using Results from Generalized Additive Models. ASCE Journal of Transportation Engineering, 137(1), 74–83.

Li, X. G., Lord, D., Zhang, Y., & Xie, Y. C. 2008. Predicting Motor Vehicle Crashes Using Support Vector Machine Models. Accident Analysis and Prevention, 40(4), 1611–1618.

KAJIAN TINGKAT KECELAKAAN LALU LINTAS DI KOTA SURABAYA

Machsus[1], Harnen Sulistio[2], Achmad Wicaksono[3], Ludfi Djakfar[4]
1. Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya
2,3,4. Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang
Email: machsus@ce.its.ac.id

Abstrak – *Kecelakaan lalu lintas di kawasan perkotaan menarik untuk kaji, mengingat jumlah kecelakaannya lebih besar dibandingkan dengan kecelakaan yang terjadi diluar kawasan perkotaan. Begitu pula, tingkat kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Kota Surabaya, diperkirakan lebih besar dibanding dengan kecelakaan yang terjadi di daerah lain. Pada makalah ini akan paparkan kajian tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya.*

Nilai indikator tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya dihitung dan dibandingkan dengan yang terjadi di daerah lainnya. Indikator tingkat kecelakaan lalu lintas yang digunakan, meliputi: frekwensi kejadian, kendaraan yang terlibat, jumlah korban dan kerugian material.

Hasil kajian memperlihatkan bahwa tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya lebih tinggi dibanding dengan kabupaten kota lainnya, baik secara nasional maupun regional Jawa Timur. Tingginya tingkat kecelakaan di Kota Surabaya dibandingkan dengan nilai rara-rata nasional, terjadi pada semua indikator, meliputi: (a) frekwensi kejadian 5.2 kali lebih besar; (b) kendaraan yang terlibat 4.3 kali lebih besar; (c) jumlah korban 5.7 kali lebih besar; dan (d) kerugian material 5.0 kali lebih besar.

Kata kunci : ***Kecelakaan lalu lintas, Frekwensi kejadian, Kendaraan yang terlibat, Jumlah korban, Kerugian material*.**

I. PENDAHULUAN

Di negara maju, seperti Amerika Serikat saja, setiap 12 menit terdapat korban meninggal akibat kecelakaan lalu lintas atau sekitar 43.800/tahun dan setiap 11 detik terdapat korban cedera (*United States Department of Transportation [USDOT] & National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2004*). Biaya kecelakaan lalu lintas sekitar $820 per-orang yang tinggal di Amerika Serikat, dan jumlah biaya total 2,3% dari Produk Domestik Bruto AS.

Di Indonesia, berdasarkan data Perhubungan Darat Dalam Angka (PDDA, 2012), disebutkan jumlah kecelakaan lalu lintas jalan pada tahun 2011 mencapai 109.776 kejadian. Kendaraan yang terlibat 239.257 kendaraan dengan total korban 176.763 orang, yang terdiri dari: korban meninggal sejumlah 31.185 orang, 36.767 orang mengalami luka berat dan 108.811 orang mengalami luka ringan. Estimasi kerugian terhadap kecelakaan tersebut mencapai Rp 86.09 milyar. Jumlah kejadian kecelakaan lalu lintas di jalan dari tahun 2006 hingga tahun 2011 memang sempat mengalami fluktuasi, namun kecenderungannya meningkat dengan pertumbuhan rata-rata 11.64% pertahun.

Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), Surabaya, 18 Juni 2014, ISBN:xxx

Begitu pula, dengan jumlah kendaraan yang terlibat, jumlah korban dan kerugian material yang juga mengalami peningkatan.

Kecelakaan lalu lintas di kawasan perkotaan menarik untuk kaji, mengingat jumlah kecelakaannya lebih besar dibandingkan dengan kecelakaan yang terjadi diluar kawasan perkotaan. Begitu pula, kecelakaan yang terjadi di kota-kota besar, juga diperkirakan lebih besar dibanding dengan kecelakaan yang terjadi di kota-kota kecil.

Metode kajian yang digunakan adalah dengan menghitung nilai indikator kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya dan membandingkannya dengan yang terjadi di daerah lainnya. Indikator tingkat kecelakaan lalu lintas yang digunakan meliputi: frekwensi kejadian, kendaraan yang terlibat, jumlah korban dan kerugian material.

II. POTRET JUMLAH KECELAKAAN LALU LINTAS DI KOTA SURABAYA

Potret kecelakaan lalu lintas jalan yang terjadi di Kota Surabaya ternyata juga mencerminkan fenomena yang di Indonesia. Widyastuti (2005) menyatakan bahwa jumlah korban kecelakaan lalu lintas jalan yang ditimbulkan dengan menggunakan sepeda motor lebih tinggi dibandingkan jenis kendaraan lain. Potret kecelakaan lalu lintas jalan di Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kecelakaan Lalu Lintas Jalan di Kota Surabaya Tahun 2007-2011.

No	Jenis	Satuan	Tahun					Pertumbuhan Rata-rata %
			2007	2008	2009	2010	2011	
1	Kejadian kecelakaan	kecelakaan	739	643	855	711	1,119	15.13%
2	Kendaraan yang terlibat	unit	1,314	1,119	1,439	1,220	2,020	16.03%
3	Korban Meninggal	orang	239	202	229	324	361	12.70%
4	Korban Luka Berat	orang	83	78	176	240	580	74.41%
5	Korban Luka Ringan	orang	642	574	689	377	680	11.13%
6	Total Korban	orang	964	854	1,094	941	1,621	18.74%
7	Kerugian Material	milyar Rp.	0.88	0.32	0.94	0.58	0.85	34.80%

Sumber: *Kepolisian Negara RI Daerah Jatim Direktorat Lalu Lintas dan Polrestabes Surabaya*.

Pada Tabel 1. diatas tercatat bahwa jumlah kecelakaan lalu lintas jalan di Kota Surabaya pada tahun 2011 mencapai 1.119 kejadian. Kendaraan yang terlibat 2.020 kendaraan dengan total korban 1.621 orang, yang terdiri dari : korban meninggal sejumlah 361 orang, 580 orang mengalami luka berat dan 680 mengalami luka ringan. Estimasi kerugian terhadap kecelakaan tersebut mencapai Rp. 0.85 milyar. Meski sempat mengalami fluktuasi namun jumlah kejadian kecelakaan lalu lintas di jalan dari tahun 2007 hingga tahun 2011 cenderung meningkat dengan pertumbuhan rata-rata 15.13% pertahun. Begitu pula, dengan jumlah kendaraan yang terlibat, jumlah korban dan kerugian material yang juga mengalami peningkatan.

Berpijak dari deskripsi diatas dapat disimpulkan bahwa tingkat keterlibatan kecelakaan lalu lintas terbanyak pada jenis sepeda motor dan populasinya juga terbesar. Selain itu, jumlah kecelakaan lalu lintas jalan cenderung mengalami peningkatan ditinjau dari parameter: frekwensi kejadian, kendaraan yang terlibat, jumlah korban dan jumlah kerugian materiil.

III. PERBANDINGAN TINGKAT KECELAKAAN LALU LINTAS

Potret kecelakaan lalu lintas jalan di Kota Surabaya juga dapat dilihat dari hasil perbandingan tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya terhadap kecelakaan yang terjadi di wilayah provinsi Jawa Timur dan secara nasional di Indonesia, seperti dapat dilihat pada Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Perbandingan Tingkat Kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya, Jawa Timur dan Indonesia Tahun 2011.

No	Kecelakaan Lalu Lintas	Satuan	Lokasi Kejadian Kecelakaan						Tingkat Kecelakaan	
			Indonesia (Nasional)[1]	Rata2 Prov.	Prov. Jatim[2]	Rata2 Kab.kota		Kota Srby[3]	Surabaya thd.	
						Nasional	se-Jatim		nasional	jatim
1	2	3	4	5	6	7	8	9	(9/7)	(9/8)
1	Frekwensi Kejadian	Kejadian/thn	109,776	2,889	21,989	216.5	578.7	1,119.0	5.2	1.9
		Kejadian/hr	301	8	60	0.6	1.6	3.1		
2	Kendaraan yang terlibat	unit/tahun	239,257	6,296	37,208	471.9	979.2	2,020.0	4.3	2.1
		unit/har	655	17	102	1.3	2.7	5.5		
3	Korban Meninggal	Meninggal/thn	31,185	821	5,499	61.5	144.7	361.0	5.9	2.5
		Meninggal/hr	85	2	15	0.2	0.4	1.0		
4	Korban Luka Berat	Luka Berat/thn	36,767	968	3,925	72.5	103.3	580.0	8.0	5.6
		Luka Berat/hr	101	3	11	0.2	0.3	1.6		
5	Korban Luka Ringan	Luka Ringan/thn	108,811	2,863	24,979	214.6	657.3	680.0	3.2	1.0
		Luka Ringan/hr	298	8	68	0.6	1.8	1.9		
6	Kerugian Material	milyar	86.09	2.27	25.10	0.17	0.66	0.85	5.0	1.3

Keterangan :

Perhitungan rata-rata didasarkan pada asumsi secara nasional terdapat 34 provinsi dan 507 kabupaten kota, serta 38 kabupaten kota di wilayah provisi Jatim

Sumber:

[1.] *Perhubungan Darat Dalam Angka, PDDA Ditjen Hubdat. (2012),*

[2.] *Kepolisian Negara RI Daerah Jatim Direktorat Lalu Lintas*

[3.] *Kepolisian Negara RI Daerah Jatim Direktorat Lalu Lintas dan Polrestabes Surabaya*

Tabel 2. memperlihatkan bahwa tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya lebih tinggi dibanding dengan nilai rata-rata kabupaten/kota, baik secara nasional maupun Jawa Timur.

Tingginya tingkat kecelakaan di Kota Surabaya terjadi pada semua indikator yang meliputi: frekwensi kejadian (3.1 kejadian/hari), kendaraan yang terlibat (5.5 unit/hari), jumlah korban (1 orang meninggal/hari) dan kerugian material (0.85 milyar/tahun).

Begitu pula, kecelakaan lalu lintas yang terjadi di wilayah provinsi Jawa Timur juga lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rata-rata provinsi. Tingkat kecelakaan yang terjadi di wilayah provinsi Jawa Timur lebih tinggi dibanding dengan nilai rata-rata provinsi secara nasional.

Berikut ini perbandingan tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya terhadap nilai rata-rata kabupaten/kota secara nasional. Indikator frekwensi kejadian memperlihatkan bahwa kecelakaan lalu lintas di Surabaya 5.2 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai rara-rata kabupaten/kota secara nasional. Indikator kendaraan yang terlibat pada kecelakaan lalu lintas di Surabaya 4.3 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata nasional. Indikator jumlah korban pada kecelakaan lalu lintas di Surabaya 5.7 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata nasional. Indikator kerugian material kecelakaan lalu lintas di Surabaya 5.0 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata nasional.

Selanjutnya, hasil perbandingan tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya terhadap nilai rata-rata kabupaten/kota dalam skala regional Jawa Timur. Indikator frekwensi menunjukkan bahwa kejadian kecelakaan lalu lintas di Surabaya 1.9 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata kabupaten/kota se-Jatim. Indikator kendaraan yang terlibat pada kecelakaan lalu lintas di Surabaya 2.1 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata Jawa Timur. Indikator jumlah korban pada kecelakaan lalu lintas di Surabaya 3.0 kali lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata Jawa Timur. Indikator kerugian material kecelakaan lalu lintas di Surabaya 1.3 kali lebih besar dibandingkan dengan rara-rata Jawa Timur.
Berpijak pada hasil perbandingan tingkat kecelakan lalu lintas tersebut diatas, maka dapat disimpulkan bahwa problem kecelakaan lalu lintas jalan di Kota Surabaya perlu mendapatkan perhatian yang serius. Realitas ini dapat dijadikan dasar argumentasi yang kuat, bila problem kecelakaan lalu lintas jalan di Kota Surabaya dipilih sebagai objek penelitian pada bidang keselamatan transportasi.

IV. KETERLIBATAN SEPEDA MOTOR PADA KECELAKAAN LALU LINTAS

Tingkat keterlibatan sepeda motor dalam kecelakaan secara nasional sebesar 74.45% (154.636 unit), dan tingkat keterlibatan ini cenderung meningkat dengan tingkat pertumbuhan rata-rata sebesar 27.59% per-tahun. Di Kota Surabaya, tingkat keterlibatan sepeda motor dalam kecelakaan sebesar 73.61% (1.487 unit), dan tingkat keterlibatannya juga cenderung meningkat dengan tingkat pertumbuhan rata-rata sebesar 17.71% per-tahun. Populasi sepeda motor di Indonesia mencapai 73.52% (65.724.861 unit) terhadap total jumlah kendaraan, populasi sepeda motor ini cenderung meningkat dengan tingkat pertumbuhan rata-rata sebesar 14.62% pertahun. Dengan mempertimbangkan hal tersebut kiranya sepeda motor masih menjadi objek penelitian yang menarik dalam bidang keselamatan lalu lintas.

Faktor-faktor kecelakaan lalu lintas di jalan raya terkait dengan bidang rekayasa maupun bidang non-rekayasa. Bidang rekayasa mencakup rekayasa prasarana dan sarana transportasi. Bidang non-rekayasa mencakup bidang kesehatan, ekonomi, psikologi, hukum, pendidikan dan bidang lainnya. Oleh karena itu, dalam kajian faktor penyebab kecelakaan lalu lintas hendaknya melibatkan berbagai bidang keahlian (Harnen, 2008). Namun bagi peneliti pada bidang rekayasa lalu lintas, hendaknya faktor-faktor kecelakaan yang ditinjau difokuskan pada unsur rekayasanya, yang meliputi : faktor lalu lintas, faktor geometrik dan lingkungan.

Faktor lalu lintas menyangkut arus atau volume, pergerakan dan titik konflik lalu lintas, kecepatan, serta komposisi jenis kendaraan. Jika volume dan kecepatan lalu lintas semakin tinggi, pergerakan dan titik konflik semakin banyak dan komposisi jenis kendaraan semakin beragam, maka potensi terjadi kecelakaan semakin besar.

Volume lalu lintas merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya kecelakaan sepeda motor. Jumlah kecelakaan sepeda motor akan meningkat seiring dengan peningkatan volume kendaraan yang akan melewati persimpangan maupun ruas jalan. Menurut Mountain dkk. (1998) jika volume kendaraan meningkat sebesar dua kali lipat pada kedua jenis pendekat, yakni pendekat mayor dan minor, maka diprediksikan frekwensi kecelakaan akan meningkat sebesar 65% pada simpang tak bersinyal dan 92% pada simpang bersinyal. Rodriguez dan Sayed (1999) menyatakan bahwa peningkatan volume kendaraan sebesar dua kali lipat pada simpang tak bersinyal 3-lengan maka diprediksikan frekwensi kecelakaan akan meningkat sebesar 37% pada pendekat mayor dan 49% pada pendekat minor. Pengaruh volume terhadap kecelakaan lalu lintas di wilayah Kota Malang dan Surabaya juga dinyatakan oleh Harnen (2009) bahwa peningkatan volume kendaraan sebesar 10% akan meningkatkan jumlah kecelakaan sepeda motor sebesar 6,12% pertahun. Sobri A. (2010, 2011) menyatakan peningkatan volume kendaraan sebesar 10% pada ruas jalan di wilayah Malang Raya akan meningkatkan jumlah kecelakaan sepeda motor sebesar 6,7% pertahun. Menurut Ackaah dan Salifu (2011), peningkatan volume lalu lintas sebesar 50% diperkirakan akan menyebabkan peningkatan kecelakaan lalu lintas di jalan sebesar 11%, sementara jumlah kendaraan

meningkat 2 (dua) kali lipat diperkirakan akan menyebabkan tingkat kecelakaan terus mengalami kenaikan sampai 19%.

Jumlah pergerakan di persimpangan dinilai merupakan variabel yang akan mempengaruhi terjadinya kecelakaan sepeda motor pada persimpangan. Banyaknya pergerakan lalu lintas pada suatu simpang tentunya akan mempengaruhi jumlah titik konflik lalu lintas di persimpangan. Semakin banyak titik konflik pergerakan tentu saja akan berpengaruh terhadap jumlah kendaraan yang berpotensi tabrakan. Pola pergerakan lalu lintas tentu sangat berpengaruh terhadap potensi kecelakaan.

Kecepatan kendaraan merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya kecelakaan sepeda motor. Dengan meningkatnya kecepatan kendaraan pada suatu simpang atau ruas jalan, maka frekwensi kecelakaan yang akan terjadi diperkirakan bakal meningkat. Menurut Vogt dan Bared (1998), jika kecepatan kendaraan meningkat sebesar 10 mph maka frekwensi kecelakaan diprediksikan akan meningkat sebesar 33% pada simpang tak bersinyal 3-lengan dan 21% pada simpang tak bersinyal 4-lengan. Lebih lanjut, Vogt (1999) menambahkan bahwa jika kecepatan meningkat sebesar 10 mph maka frekwensi kecelakaan diprediksikan akan meningkat sebesar 40% pada simpang tak bersinyal 4-lengan di wilayah luar kota. Disamping itu, Bauer dan Harwood (2000) mengungkapkan bahwa jika kecepatan kendaraan meningkat sebesar 10 mph, maka frekwensi kecelakaan diprediksikan akan meningkat dengan korban luka dan meninggal sebesar 14%. Lalu, Harnen (2004) mengemukakan bahwa peningkatan kecepatan sebesar 20 km/jam diprediksi akan meningkatkan potensi kecelakaan sepeda motor sebesar 35%, untuk kasus di Malaysia. Hasil penlitian Harnen (2009) menunjukkan bahwa jumlah kecelakaan yang terjadi pada kecepatan rata-rata > 40 km/jam diprediksi lebih besar 24,9% dibandingkan dengan kecepatan rata-rata < 40 km/jam. Sementara, Sobri (2010, 2011) memperlihatkan bahwa dengan menaikan kecepatan rata-rata sebesar 10% (km/jam) maka jumlah kecelakaan akan meningkat sebanyak 30,2%.

Proporsi sepeda motor dalam komposisi jenis kendaraan yang beroperasi pada persimpangan maupun ruas jalan merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya kecelakaan sepeda motor. Harnen (2009) menyatakan bahwa kenaikan 10% jumlah sepeda motor dalam komposisi lalu lintas diprediksi dapat meningkatkan jumlah kecelakaan sepeda motor sebesar 38% setiap tahun.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Tingkat kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya lebih tinggi dibanding dengan nilai rata-rata kabupaten/kota lainnya, baik secara nasional maupun regional Jawa Timur.
2. Tingginya tingkat kecelakaan di Kota Surabaya dibandingkan dengan nilai rara-rata nasional, terjadi pada semua indikator, meliputi: (a) frekwensi kejadian 5.2 kali lebih besar; (b) kendaraan yang terlibat 4.3 kali lebih besar; (c) jumlah korban 5.7 kali lebih besar; dan (d) kerugian material 5.0 kali lebih besar.
3. Tingginya tingkat kecelakaan di Kota Surabaya dibandingkan dengan nilai rara-rata regional Jawa Timur, juga terjadi pada semua indikator, meliputi: (a) frekwensi kejadian 1.9 kali lebih besar; (b) kendaraan yang terlibat 2.1 kali lebih besar; (c) jumlah korban 3.0 kali lebih besar; dan (d) kerugian material 1.3 kali lebih besar.
4. Tingkat keterlibatan sepeda motor dalam kecelakaan lalu lintas di Kota Surabaya sebesar 73.61%, dan tingkat keterlibatannya juga cenderung meningkat dengan tingkat pertumbuhan rata-rata sebesar 17.71% per-tahun.

Kesimpulan tersebut mempertegas argumentasi bahwa problem kecelakaan lalu lintas jalan di Kota Surabaya, terutama terkait keterlibatan sepeda motor, masih menjadi objek penelitian yang menarik dan penting dalam bidang keselamatan lalu lintas.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

- Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepolisian Negara RI Daerah Jatim Direktorat Lalu Lintas dan Polrestabes Surabaya, terutama pada Unit Laka Lantas, yang telah memberikan dukungan data Laka Lantas.

VII. DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2012. Perhubungan Darat Dalam Angka (PDDA). Jakarta.

Harnen, S. Radin Umar R.S. Wong S.V. and Wan Hasim W.I, 2003. Motorcycle Crash Prediction Models for Non-Signalized Intersection, Journal of IATSS Research Vol. 27 No.2 Japan.

Harnen, S. Radin Umar R.S. Wong S.V. and Wan Hasim W.I, 2004. Development of Prediction Models for Motorcycle Crashes at Signalized Intersections on Urban Road in Malaysia, Journal of Transportation and Statistics Vol. 7 No.2/3 2004. Department of Trasportation USA. Hlm 27-39.

Harnen, S, RS Radin Umar, SV Wong, WL Wan Hashim. 2005. Development of Hourly, Daily and Monthly Factors and Its Application to Prediction Model for Motorcycle Accidents at Junctions in Malaysia, Journal of Road Engineering Association of Asia and Australia (REAAA), Vol 12 No 2. Hlm 16-29.

Harnen, S. Radin Umar R.S. Wong S.V. and Wan Hasim W.I, 2006. Motorcycle Accident Prediction Models for Junctions on Urban Road in Malaysia. Journal of Advances in Transportation Studies, Section A 8. Hlm 31-40

Indriastuti, A.K, and Harnen, S. 2010. Motorcycle Accident Model For Severity Level and Collision Type, International Journal of Academic Research.

Sobri, A., dkk. 2010. Model Kecelakaan Sepeda Motor pada Ruas Jalan dengan Menggunakan Pendekatan GLM, Jurnal Transportasi FSTPT, ISSN 1411-2442, Vol. 10 No. 2 Agustus 2010.

Sobri, A., dkk. 2011. Model Kecelakaan Sepeda Motor pada Ruas Jalan dengan Menggunakan Pendekatan GLM (Studi Kasus di Kota Batu). Jurnal Dinamika Teknik Sipil. Akreditasi BAN DIKTI No : 110/DIKTI/Kep/2009, Volume 11 No, 2, Mei 2011

Widyastuti, H. and Mulley C. 2005. Evaluation of Casualty Cost of Motorcyclist’s Slight Injury in Indonesia, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3497 – 3507.

RISK MANAGEMENT AND SAFETY SYSTEM ASSESSMENT FROM POWER PLANT STEAM BOILER IN POWER SYSTEMS UNIT 5, PAITON-INDONESIA

Ali Musyafa dan Luluk Kristianingsih
Department of Engineering Physics, FTI, Sepuluh Nopember Institute Of Technology , Surabaya
Email: musyafa@ep.its.ac.id

Abstract – *Steam power plant (CPP) is a power plant that is widely used in Indonesia. Part of the power plant system that has a high risk of danger is a Boiler , and therefore in danger of such a system is necessary to study and review of safety systems for the prevention of danger arising in the Boiler . Therefore hazard analysis used in this study using HAZOP . Selected node is economizer, steam drum , superheated , and reheated which is the main constituent components of the boiler system.*

Guide word and deviation determined based control chart constructed from the data of each of the components during the month of March 2013. Likelihood estimation was based on data maintenance power plant unit 5 for 5 years , while the estimated consequences done based criteria as well as the risks posed by the control chart . The result of multiplying likelihood and consequences by risk matrix and risk criteria of the components produced.

Based on the analysis , it is known that the components that have the highest risk of harm is the steam drum level transmitter , is have extreme risk criteria . In addition, there is also extreme risk the superheated outlet pressure transmitter. To reduce the risk in the system required routine maintenance and calibration. And to increase Safety Integrity Level transmitter need additional redundant. The biggest danger to the entire node is due to the fire. Therefore , an analysis of emergency response plan to respond to events that include fire evacuation maps, duties and responsibilities of each person as well as preventive measures and counter measurement.

Keyword - Emergency response plan, HAZOP, risk management, steam boiler.

I. INTRODUCTION

Steam power plant (SPP) is a lot of power plants installed in Indonesia. Generally, thermal power generation system consists of a main component, boiler, turbine, generator and condenser [1]. One of the most important parts of a steam power plant system is the boiler . Boiler is a component that is used to convert water into steam through a heating process. Steam is then used to drive a turbine and a generator coupled to generate electric power. Boiler system consists of three main systems, namely the feed water system, fuel system, and steam systems [1 - 2]. Paiton is a plant that has the largest capacity in Indonesia [2] .
Paiton existence for the people, have the potential to big harm, both derived from the components themselves, as well as from outside. So it cannot be denied that safety becomes paramount in this process. Every year many workers died from accidents generation that occurs in the workplace. This is caused by conditions that plant safety minimizes [3-4]. Therefore, the safety system is required on all components involved in the production process, especially for large risk component failure, such as the boiler is working at high temperature and pressure [5].

Based on these reasons, it is necessary to study risk management by way of hazard identification and risk analysis using HAZOP method, and system safety analysis do associated with the emergency response plan is made for the most endangered big risk. Related the analysis done with the cause of failure that may arise in the four major components namely; boiler, economizer, steam drum, superheated, and reheated hereinafter referred to as nodes. Components on each node, bounded on the transmitter and control valve screens are accessed from the generation DCS-power plant Paiton Unit 5.

IV. II. MATERIALS AND METHODS

The data used in this study are documents and from pictures of the process in the boiler unit 5 UP Paiton plant. These documents include process flow diagram (PFD), piping and instrumentation diagram (P&ID), maintenance data or time to failure of each component contained in the steam turbine, the data process on each component of the boiler in full operation throughout the day taken for one month,

on March 1, 2013 until March 31, 2013. The data is sampled once every hour for 24 hours. This data will be used for the determination of risk and risk analysis at the individual components of the boiler. The method used in identifying hazards is to use analytical methods Hazard and Operability Analysis (HAZOP). The steps in the identification of hazards using HAZOP method is as follows:

- Determine the node / point based study P & ID data has been obtained. In this study, the node is determined based on the main components that make up the boiler system, the economizer, steam drum, superheated, and reheated.
- At each node, determined what components are contained in the section, which regulate all the processes that take place, from input to output. For example, a flow transmitter, temperature transmitter, pressure transmitter, valve and safety components are supporting the process on the node. The determination of this component is based on the components contained in the boiler plant DCS screens Paiton unit 5.
- Determine guideword using process data taken from each component during March and draw a chart based on the data, then the data that formed the trend seen from the graph to find the value of deviation.
- Perform analysis of the causes of deviations predetermined and assess its consequences and what safeguards are owned by a single node in the system.

Estimate of the Risk

Risk estimation is done through an analysis of the two parts of the Likelihood and Consequences: Likelihood is the frequency of the possibility of a risk can occur on a component at a given time period [5]. Necessary to estimate the likelihood that the data maintenance is recorded at Work Order on the Performance and Maintenance Control, Operation and Maintenance Power Plant unit 5 UP Paiton. Of the data on each failure, then look for the value of MTTF, which is the average time, that component failure. Likelihood values obtained from the comparison between the numbers of operational days per year to the value of MTTF. Therefore, plants have never stopped in producing electricity and run the company in a single day of production for 24 hours. Having determined the criteria of likelihood component [5]. The time period is used for research during the period of 5 years, so the likelihood is determined by Equation (1) [4].

$$Likelihood = \frac{43800}{MTTF} \quad (1)$$

As for the components that are not included in the maintenance of existing data in the Plant, MTTF at the failure rate can be from the data contained in the Offshore Reliability Data. (OREDA) in 2002 [6]. The equation used is as follows:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Consequences, was determined qualitatively based on how big the losses of the hazards that have been identified [5]. Consequences can be viewed in terms of damage to the components cannot be resumed, in terms of their effects on humans, or in terms of the costs incurred as a result of the hazards posed. In addition, the estimated Consequences can be done based on a control chart constructed from the data on the process of each component [7].

V. Risk analysis is done by combining the likelihood and Consequences that have been calculated on the estimated phase. The combination of both is obtained by using a risk matrix as shown in Table 1 [8].

Analysis of Emergency Response Plan (ERP), is done by determining the most risk and most likely a major effect on the system when a failure occurs. The most influential risk can be determined based on the analysis of HAZOP worksheet. Having determined what safety measures are taken if the risk of such failures occurred and what the response is taken for humans exposed in such a risky place. In this analysis, obtained an evacuation map, so as to facilitate the evacuation process when the risk of exposure.

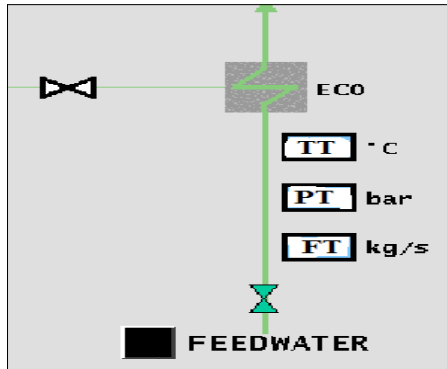
TABLE 1. RISK MATRIX.

Likelihood	*Consequences*				
	Insignificant	Minor	Moderate	Major	Catastrophic
	1	2	3	4	5
A (Almost certain)	H	H	E	E	E
B (Likely)	M	H	H	E	E
C (Moderate)	L	M	H	E	E
D (Unlikely)	L	L	M	H	E
E (Rare)	L	L	M	H	H

VI. III. RESULTS

In conducting a risk analysis, it is necessary to limit (boundary) of the system being analyzed, i.e. boiler. In this study, boiler grouped into four node / point of the study, the economizer, steam drum, superheated, and reheated. Because of the number of components on each node is too much, and then the assessment can be simplified into a single components of each node, which is the component that has the highest risk.

a) Economizer; economizer section there are four components that support a feed water preheating system derived from the feed water pump that led to the steam drum. The components in the form of pressure transmitters, temperature transmitters, flow transmitters, and control valve. These components are used to set the input economizer, while the arrangement of the components shown in Figure 1.

Fig. 1: Diagram of Economizer.

Guide Word and Devition

Based on data from existing processes, can be constructed from the data graph from economizer inlet pressure transmitter (50LAB40CP001) shown in Figure 2. Of the graph is known that the pressure readings from the transmitter tends above average, amounting to 171 366 bar, so that the local word used is high, the deviation is high pressure. Control chart is also used to determine your word, also used for estimation Consequences are based to the data that forms the boundary line. For example, for 50LAB40CP001, the data has reached the finish line third, so the consequence is worth 3.

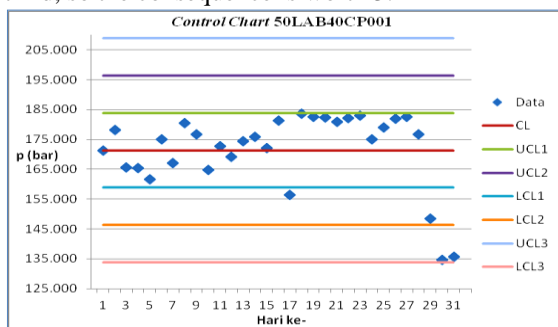



Fig. 2: Control Chart of 50LAB40CP001.

Estimation Likelihood

Likelihood estimation is built based on the data obtained from the maintenance Work Order on the Performance and Maintenance Control, Operation and Maintenance Power Plant unit 5 UP Paiton. Likelihood criteria sought by using the ratio between operating time with Mean Time to Failure (MTTF) [4] - [5]. The likelihood can be determined by using equation (1) and equation (2). Word economizer deviation and local likelihood Table shown in Table 2 and Table 3.

Table 2. Guide Word And Deviation Of Economizer Component.

Instrument	Guide Word	Devition
50LAB40CF901	High	High Temperature
50LAB40CT002	High	High Pressure
50LAB40CP001	More	More Flow
50LAB40AA101	Part of	Part of Instrumentation

Table 3: Criteria of Likelihood Economizer Component.

Instrument	MTTF	*Likelihood*	Criterion of Likelihood
50LAB40CF901	9180.146	4.771	B
50LAB40CT002	202020.202	0.217	E
50LAB40CP001	303030.303	0.145	E
50LAB40AA101	98619.329	0.444	E

b) *Steam Drum* , flow chart of steam drum shown in Figure 3. As follows:

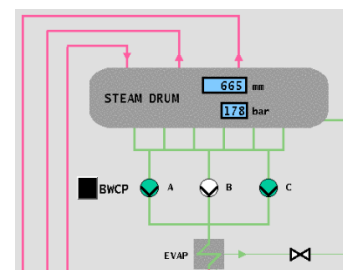



Fig. 3. Diagram Steam Drum.

Guide Word and Devition

Table 4 : Guide Word and Deviation Steam Drum Component

Instrument	Guide Word	Devition
50HAD10FL901	More less	More Level
50HAD10FL901	Less	Less Level
50HAD10CP901	High	High Pressure
50HAG12CT001	More	More Temperature
50HAH51CT001	Low	Low Temperature

Estimation Likelihood

Table 5 : Criterion of Likelihood Steam Drum Component

Instrument	MTTF	Likelihood	Criterion of Likelihood
50HAD10FL901	9066.877	4.831	B
50HAD10CP901	16353.230	2.678	D
50HAG12CT001	14184.690	3.088	C
50HAH51CT001	2956.251	5.926	A

c) *Superheated*

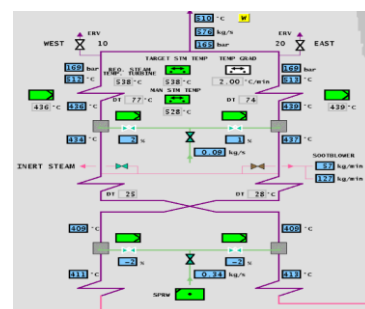



Fig. 4 : Diagram *Superheated.*

Guide Word and Deviasi

Table 6 : Guide Word and Deviation of Superheated Component.

Instrument	Guide Word	Devition
50HAH51CT001	Low	Low Temperature
50LAE11AA101	Part of	Part of Instrumentation
50LAE11AA101	Less	Less Flow
50HAH71CT902	High	High Temperature
50LBA10CT901	Low	Low Temperature
50LBA10CP001	High	High Pressure
50LBA30CT001	Low	Low Temperature
50LBA30CP901	High	High Pressure
50LBA30CF901	More	More Flow

Estimation Likelihood

Table 7: Criterion of Likelihood Superheated Component.

Instrument	MTTF	Likelihood	Criterion of Likelihood
50HAH51CT001	2956.215	5.926	A
50LAE11AA101	4726.381	9.267	A
50HAH71CT902	19880.716	2.203	D
50LBA10CT901	19880.716	2.203	D
50LBA10CP001	52910.053	0.828	E
50LBA30CT001	19880.716	2.203	D
50LBA30CP901	9127.903	4.798	B
50LBA30CF901	5170.732	8.471	A

d) Reheated

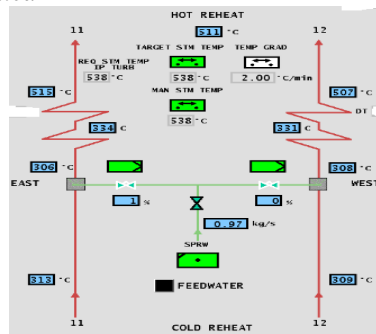



Fig.5 : Diagram of Reheated.

Guide Word and Deviations

Table 8: Guide Word and Deviation Superheated Component.

Instrument	Guide Word	Devition
50LBC11CT001	High	High Temperature
50LBC12CT001	High	High Temperature
50LAF11AA101	Part of	Part of Instrumentation
50LAF11AA101	More	More Flow
50HAJ11CT901	High	High Temperature
50HAJ12CT901	Low	Low Temperature
50LBB11CT901	Low	Low Temperature
50LBB12CT901	Low	Low Temperature

Estimation *Likelihood*

Table 9 : Criterion of Likelihood Superheated Component

Instrument	MTTF	*Likelihood*	Criteria *Likelihood*
50LBC11CT001	19880.716	2.203	D
50LBC12CT001	19880.716	2.203	D
50LAF11AA101	4566.873	9.5[illegible]1	A
50HAJ11CT901	10730.550	4.082	B
50HAJ12CT901	19880.716	2.203	D
50LBB11CT901	19880.716	2.203	D
50LBB12CT901	19880.716	2.203	D

IV. *ANALYSIS OF EMERGENCY RESPONSE PLAN (ERP)*

Based on HAZOP risk analysis worksheet above, it can be seen that the dangers that pose the greatest risk is fire. Fires can occur in all parts of the boiler, the boiler package both inside and outside the boiler room. The leading cause of fires in the boiler water level in the steam drum is too low, exceeding the lower limit specified and lighters that are in the furnace does not work when the fuel is supplied to the combustion chamber [9]. The purpose of the ERP is to maximize the safety of all existing personnel and minimize damage from fire or explosion. In addition, to ensure smooth communication during emergency handling and to immediately restore operation as soon as possible.

Evacuation map

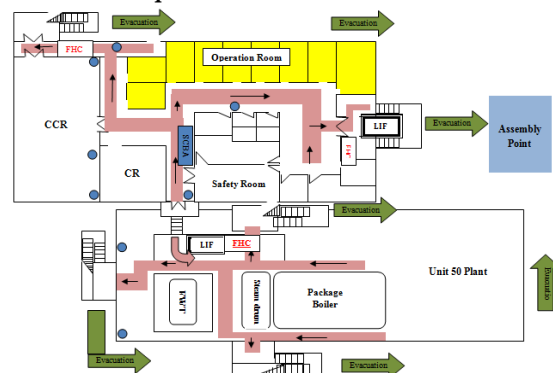



Fig.6 : Evacuation Map.

VII. VI. DISCUSSION

VIII. General prevention

The person who first discovered the fire ;

- The person who first discovered the fire should immediately shout for help and to give a warning to others who were around Location which can still hear his voice. Immediately contacted the Control Room Engineer with number 4444 and turn on the nearest fire alarm [9
- Provide detailed information regarding the location of the fire, many people involved as well as the consequences.
- Give attention to those who are victims. An employee who is not trained or have not completed the first aid training is not allowed to move the wounded. If victims can walk alone, it must be immediately toward a predetermined assembly point.
- For employees who have been trained to use fire extinguishers and fire management have the training, should try stoped fire using extinguishers available around the site, until the fire team arrived. This is only done if the employee properly trained and in a safe condition.

***The Emergency Incident Controller* (EIC)**

- Initiate Emergency Alarm to turn on, and using the public address outside power plant location to call the fire department and medical personnel if necessary.
- Regulate access fire trucks and first aid teams as needed.
- Ensure that all personnel involved in the incident known amount.
- Ensure all emergency services secure in handling
- Completing the Emergency Incident report.
- Ensure all data is written on the Accident (Injuries) Record Book [9].

For fatal events, the EIC must keep the area around the scene of the fire cleared, cultivated not spread, and safe. The area is maintained until the police came to investigate.

Shift Core Team and Shift Fire Team

- After hearing the fire alarm, immediately gathered at the meeting place or at a place indicated by radio.
- Must use PPE and Fire Protective Clothing
- Wear breathing apparatus only when required or instructed by Team Leader
- Trying to extinguish the fire only if safe to do so and should take into account the safety of themselves.

Fire Warden

- Fire Warden will guide and coordinate the evacuation of employees at the location.
- Ensure that guests had been to the assembly point
- Stay in touch with employees and contractors
- Evacuation is directed through the place / safe route, then remains at the assembly point until no further instructions. Stand by the radio channel - 1 for the instruction of shift manager [9]

VII. Conclusion

Based on the data analysis and discussion that has been done can be concluded that the greatest danger to the fourth node boiler , occurs at the level transmitter steam drum level during conditions with less likelihood criterion is A that means there is more than 5 times in 5 years and consequence criteria is 4 , so the risk is worth Extreme risk . In addition , there are also extreme risks on the superheated outlet pressure transmitter is a likelihood criterion B , criterion consequence is 4 . To reduce these risks , can be done with regular maintenance , calibration routine at the transmitter as well as the addition of redundant transmitters , so it will increase the reliability of the system and potential hazards can be reduced .

Based HAZOP worksheet , note that the greatest risk is in the boiler fires . Therefore , needs to make emergency response plan to fire hazard that occurs in boilers , each include personnel responsibilities , preventive measures , mitigation measures , and evacuation maps to minimize the risk of loss during emergency conditions . The results of this study can be applied to Paiton , especially for boiler systems . With the HAZOP table , it can be a precaution against possible risks , It is profitable for the company , because of the possible dangers of the plant can be reduced , so that the costs for maintenance and repairs will also be reduced

- **VIII. REFERENCES**

Ali Musyafa, Ronny D.N, 2012, Hazard and operability study in Pulpurizzer of the steam power plant, IJSTE , International Journal of Science and Technology Vo.1 No.3. ISSN : 2255-5297 September [1]

Asmudi. 2007, "Analysis of performance Boiler to power degradation in PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak". Journal of final project Teknik Sistem Perkapalan ITS [2].

UNEP. Devices of Thermal Energy : Boiler and Fluid thermal Terms. URL:http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter - Boilers ... .pdf [3].

Dhillon, B.S., 2005, "Reliability, Quality, and Safety for Engineers". London : CRC Press.[4].

Ebeling,Charles E. 1997, "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering". Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.[5].

Iviana Juniani, Anda., 2008, Implements Met ode HAZOP in Prose's Identification hazard and Risk Analysis at Feed water System in Unit Power plant Paiton, PJB. Proceeding Engineering KKK. PPNS, ITS [6].

SINTEF, 2009, Industrial Management. "Offshore Reliability Data Handbook 4th Edition". OREDA Participants,2000

Montgomery, Douglas C.,1999, "Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition". United States of America.[7] Standards Association of Australia , " Australian Standard : Risk Management AS/NZS 4360 " [8].

PMI - Health and Safety (H&S) – 450. 2005, "Emergency Management Procedure". Safety and Fire System Department PT. Paiton, [9].

RISK MANAGEMENT AND HAZARD AND OPERABILITY STUDY ON STEAM TURBINE POWER PLANT UNIT-5 IN THE POWER GENERATION PAITON, EAST JAVA–INDONESIA

Dr. Ali Musyafa dan Erna Zulfiana
Department of Engineering Physics, FTI, Sepuluh Nopember Institute Of Technology, Surabaya, INDONESIA
Email: musyafa@ep.its.ac.id

Abstract – Steam turbine with a large capacity, operated at high temperature and high pressure. Security so the process must be maintained so as not to pose a hazard with a high risk. The level of danger the plant needs to be analyzed and identified by HAZOP method; further risk management activities implemented in the form of emergency response plans based on the potential dangers arise. Hazard identification method is done by determining the phase node.

The nodes in the steam turbine, there are four nodes, which include; HP Turbine, Turbine IP, LP 1 and LP Turbine Turbine 2. Next step is the determination and calculation guideword deviation control chart based on the data from the transmitter process each node, while the likelihood estimation is calculated by finding the value of MTTF at each transmitter. It is known that the most dangerous conditions in the steam turbine is the high pressure conditions of risk matrix is written in the 4 node transmitter pressure which causes extreme values high and steam turbine over speeding . The hazard mitigation recommendations are; pressure alarm installation, automatic simulation of turbine test, periodic inspection of turbine over speed protection, recalibration, and transmitter pressure checked regularly.

Keywords: Steam Turbine, HAZOP, Guideword, Emergency Response Plan, High Pressure.

I. INTRODUCTION

One type of power plant is located in Indonesia steam power plant (SPP). The plant uses coal fuel at a steam power plant unit, there are several important components, among others; pump, boiler, steam turbine and condenser. Steam turbine is a component that converts chemical energy into thermal energy such steam, which is then converted into mechanical energy in the form of rotational motion on the rotor shaft and further coupled to a generator to produce electrical energy. Steam turbine in this system is driven by superheated steam. This situation adapted to the working fluid produced by the boiler. Steam turbine is a complex component and includes a rotary machine (a machine that moves by rotating) that operates at a fairly extreme conditions i.e. high temperature and high pressure steam. Therefore, security in the steam turbine must be maintained in order to avoid accidents. This is consistent with the mission of all the industries i.e. “zero accident” or accidents never occur during operation, because if there's going to hurt the industry. Losses suffered in the accident form, material losses, environmental damage and loss of corporate reputation.

Activities to address workplace accidents are to do useful analysis of existing security system in the steam turbine. The extent to which the level of security that is, what is effective and efficient. The stages for the analysis of a security system are done by identifying and analyzing the hazards likely to occur. Methods for the analysis and identification of hazards at industrial plants are the most popular now is the method HAZOP (Hazard Analysis and Operability). Hazard analysis done on a presses HAZOP method to calculate the deviation from the normal system. In addition it is necessary for the prevention of work accidents related with a plant safety system. On the other necessary risk management aims to minimize losses, if the predicted danger become reality. Risk management can also be used as a means of preventing the possibility of the incident. Thus the analysis and identification of hazards that occur in steam turbine with HAZOP method followed by the implementation of risk management, such as emergency response plan based hazards that may occur in the plant.

II. MATERIAL AND METHODS

In this stage, the analysis process that occurs in the steam turbine. Phase begins with the analysis of the data retrieval supporting documents such as books, as well as previous reports from other sources that the information can be trusted. Data collected in the form of documents or images that support the process of steam turbine which include Process Flow Diagrams (PFD) and, Piping and Instrument Drawing (P & ID).

From the process data in the screen and recording operational Distributed Control System (DCS). Historical data maintenance, data between time failure, and time data for improvement of each component contained in the steam turbine [1].

On the steam-turbine unit 5 Paiton, the same process variable measurements, the installed transmitter number two. The number of transmitters that can be mounted on the P & ID of the transmitter. Transmitter with codes ending in 903 or 901 means there is more than one transmitter for measurement of the same activity, only layout in a different line (pipe). As for the transmitter with the suffix code 001, 002, 003 or 004, a single transmitter value measurements contained in the DCS screen to double transmitter is one of the two transmitters are automatically selected by the DCS. If there is a triple transmitter, the measurement system will be used 2^3 , which means the value of measurements taken from the two transmitters are then compared, the value of which will be displayed DCS screen. Any transmitter in the system for activity measurements in the process of being redundant, because when using more than one transmitter data can still is accessed even if there is damage to the transmitter [2, 6].

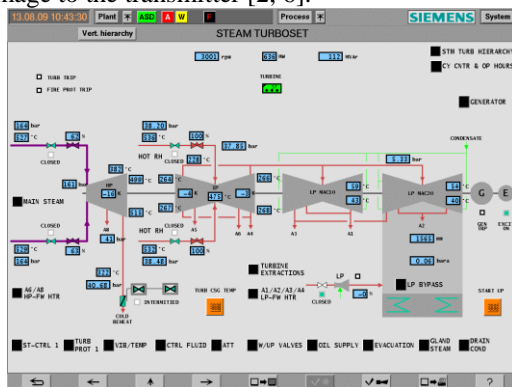



Fig. 1. : DCS Screen for Steam Turboset.

In addition to Figure 1, at each main section there is also a steam turbine steam extraction process, which is one output of the turbine is shown in Figure 2.

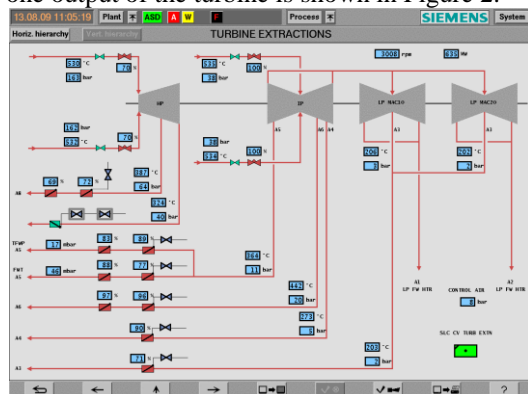



Fig. 2. DCS Screen for Exstraaction in Steam turbine.

Guideword done based on the determination of the control chart, for a system with double the transmitter, then the purpose of data access is still considered valuable because of the measurement data are displayed on a single screen DCS. As to the calculation of MTTF is used to estimate the probability of each transmitter pad taken into account, so that if there is a double transmitter then calculation MTTF of each transmitter associated with system redundancies. Hazard identification is done with the HAZOP method has several stages, namely: the determination of the study point (node), determination of process parameters, the selection deviation guideword and calculations used to determine the possible failure in the system. [3]. Description of the nodes in the steam turbine; HP Turbine, Turbine IP, LP 1 and LP Turbine Turbine 2. Analysis of each node starting from instruments located at the input, process, and output from the node. This determination is based on the nodes contained in the steam turbine DCS screen shown in Figure 1 as follows:

Determination guideword the HAZOP method is based on the data processing are taken every hour for 1 month was conducted in March 2013 (31 days). The process data is then processed and displayed by the control chart in order to see the quality of the data trends in the process of each instrument at each node that has been specified. After visually displayed, it can be checked whether the data charts tend to be at the level of the lower control limit value (LCL) or tend to value level upper limit (UCL). UCL and LCL values are clues for determining guideword bring operating conditions are at high if the trend of the data is above the UCL and low if it is below the LCL. Therefore, plants have never stopped in producing electricity and run the company in a single day of production for 24 hours. Having determined the criteria of likelihood component. The time period is used for research during the period of 5 years, so the likelihood is determined by Equation (1) [4-5].

$$Likelihood = \frac{43800}{MTTF} \quad (1)$$

Consequences and probability estimation is done to complete the data failure or hazards that may occur in the system, so as to know the consequences and likelihood can take diketui ecara detailed. Qualitative estimate of the consequences of that is done by describing the effect or result of failures in the steam turbine and the overall Operations to process in the power plant. Cause of the failure is usually caused by factors; machine, man, method, and environmental management.

To estimate the likelihood is done by using the data on the time to failure of steam turbine components at one-year intervals. Likelihood criterion used is the frequency of damage to each component in a given time period. Likelihood value is obtained from the ratio between the number of operating days per year to the value of MTTF (mean time to failure). MTTF values obtained from the data of each instrument maintenance, but if the data if there is no maintenance of the instrument in question, then MTTF values obtained from the value of failure rate based on OREDA. MTTF values obtained from the value of failure rate (λ) according to the following equation [2].

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

RISK ANALYSIS

Risk analysis is done by combining the likelihood and Consequences that have been obtained from the estimation stage. The combination is obtained by using a risk matrix in Table 1 [1].

Table 1: Risk Matri.

Likelihood	Consequences				
	Insignificant	Minor	Moderate	Major	Catastrophic
	1	2	3	4	5
A (Almost certain)	H	H	E	E	E
B (Likely)	M	H	H	E	E
C (Moderate)	L	M	H	E	E
D (Unlikely)	L	L	M	H	E
E (Rare)	L	L	M	H	H

Emergency Response Plan (ERP) is a very necessary step when there is a failure. This activity is in the form of emergency measures to save themselves in the event of system failure. ERP in terms of the local, the area around the steam turbine system. ERP is made to address the incidence of fires (fire) that occurred in the steam turbine. Fire is the most likely events that occur and can lead to other dangers such as explosions. ERP is equipped with evacuation map man who is at the location of the steam turbine building and the instructions to the assembly point nearby. Performance analysis is an assessment of the ERP ERP ERP is desinged to reduce the risk or not. Based on the discussions and recommendations from the department of the HSE PT. Paiton Plant Unit-5, then the ERP can be constructed and is shown in Figure 4.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The discussion and analysis is done starting from; hazard analysis, risk assessment, analysis and performance analysis of ERP ERP related with risk reduction is likely to occur. The results of the research conducted was what derived from the analysis and identification of hazards by HAZOP method on the steam turbine and risk management of hazards that may occur. The analysis of the process of Steam Turbine, is one of the main components of the plant that is used to convert chemical energy into thermal energy and then into mechanical energy is used to rotate the turbine rotor is further connected to a generator. The specifications of the steam turbine in unit 5 Paiton, East Java, as follows:

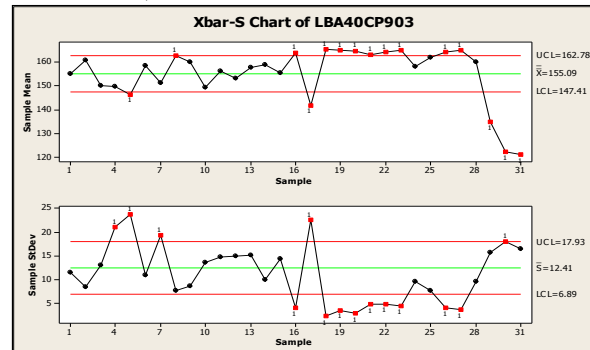
Table 2 : Spesifiaction of Steam Turbine [7].

MANUFAKTUR STEAM TURBINE	SIEMENS
Tipe steam turbine	HMN Series 4 (1 HP, 1 IP , 2 LP)
HP Turbine	Single Flow, Double Shell, 14 stages Barrel Type outer Casing, 2 Combined Stop & Control Valves
IP Turbine	Double Flow, Double Shell Casing, 2x13 stages, 2 combined stop & control valves
LP Turbine	Double Flow, Multi Shell Casing, 2x7stages
Kondenser	Single Flow, Two lines, Titanium Tubes arranged in series Capacity:580 m^3 , Pressure: -1 bar Temp.max: 85 ^{0}C
Extraction Stage	8 (HP: 1, IP: 3, LP: 4)
Kecepatan rata-rata	3000 rpm
Casings	4 (1 HP, 1IP, 2 LP)
LP exhaust Pressure	0,0649 Bar

Steam turbine unit operating at 5 Paiton always be kept in accordance with the specified design load, design load is shown in Table 3.

Tabel 3 : Steam Turbine Design Load[7].

Design load	100 % (650MW)	75% (487MW)	50% (325MW)
Main Stream flow	546 kg/ s	400 kg/ s	264 kg/ s
Main Steam pressure	167 bar	128 bar	100 bar
Main Steam temperature	538 ºC	538 ºC	538 ºC
Cold reheat temp	332 .2 ºC	334 ºC	330 ºC
Cold reheat pressure	42. 7 bar	32 bar	21 bar
Hot reheat temp	538 ºC	538 ºC	538 ºC
Hot reheat pressure	38.8 bar	29 bar	19 bar

At node HP turbine are 15 measurement points transmitter which is then used to set the process in the HP turbine. Process variables displayed on the DCS screen. From 18 transmitters is installed in the plant. Each instrument is analyzed and displayed in a chart measurements are then used to determine guideword of each transmitter as shown in Figure 3. That a control chart LBA40CP903 (Main Steam Pressure Transmitter 1).

Gambar 3. *Control Chart* LBA40CP903.

From control chart Xs can be seen that there is more data amount that is above the UCL value, so it can be seen that the operating conditions of the system are often in high pressure conditions. Though the measured value is still within spec limits are 0-250 bar transmitter. LBA40CP903 of the control chart can be seen that the pressure transmitter guideword LBA40CP903 is high which indicates that the deviation is at high pressure. If there is the same amount of data is above the UCL and LCL values below it are two guideword because the transmitter operates on two conditions. In addition to the chart control valve is always the same measured value can be determined guideword is part of. Guideword determination for each transmitter contained in the plant in HP Turbine node is shown in Table 5 as follows [6-7].

IP Turbine is the second node has 19 measurement points. Node is displayed on the DCS screen with 23 transmitter is installed in the plant. Determination guideword at each transmitter contained in the IP node Turbine shown in Table 5.

Table 4 : Guideword Each instrument on HP Turbine node.

Instrument	Guideword	Deviation
LBA40CP003	High	High pressure
LBA40CP004	High	High pressure
LBA40CT003	High	High temperature
	Low	Low temperature
LBA40CT004	High	High temperature
	Low	Low temperature
MAA12FG151	More	More flow
	Part of	Part of instrumentation
LBA50CT003	High	High temperature
	Low	Low temperature
LBA50CT004	High	High temperature
	Low	Low temperature
MAA22FG151	More	More flow
	Part of	Part of instrumentation
MAA50CP001	High	High pressure
MAA50CT018A	High	High temperature
	Low	Low temperature
MAA50CT051A	High	High temperature
	Low	Low temperature
MAA50CT052A	High	High temperature
MAA50CP021	High	High pressure
LBC10CP002	High	High pressure
LBC10CT002	High	High temperature
	Low	Low temperature
LBQ80CP001	High	High pressure
LBQ80CT001	Low	Low temperature

Tabel 5 : Guideword Each Instrument on IP Turbine Node.

Instrument	Guideword	Deviation
LBB11CP001	High	High pressure
LBB11CP002	High	High pressure
LBB11CT003	High	High temperature
LBB11CT003	High	High temperature
MAB12FG151	Part of	Part of instrumentation
LBB12CP001	High	High pressure
LBB12CP002	High	High pressure
LBB12CT003	High	High temperature
LBB12CT003	High	High temperature
MAB22FG151	Part of	Part of instrumentation
MAB50CP001	High	High pressure
MAB50CT011A	Low	Low temperature
MAB50CT041A	High	High temperature
MAB50CT042A	High	High temperature
MAB50CT061A	Low	Low temperature
MAB50CT062A	High	High temperature
	Low	Low temperature
MAB50CT021A	High	High temperature
	Low	Low temperature
LBS50CP001	High	High pressure
LBS50CT001	High	High temperature
	Low	Low temperature
LBQ60CP001	High	High pressure
LBQ60CT001	Low	Low temperature
LBS40CP001	High	High pressure
LBS40CT001	High	High temperature
	Low	Low temperature

The third node is at LP Turbine 1, which has a 6 point measurement at the plant that will be displayed on the DCS screen. Guideword determination for each transmitter node contained in LP Turbine 1 in Table 6.

Table 6: Guideword Each Instrument on LP Turbine 1 node.

Instrument	Guideword	Deviation
MAC10CT011A	High	High temperature
MAC10CT071A	High	High temperature
LBS30CP001	High	High pressure
LBS30CT001	High	High temperature
	Low	Low temperature
LBS32CP001	High	High pressure
LBS32CT001	Low	Low temperature

The fourth node is the LP Turbine 2, which has 5 point measurements of the plant, and displayed on the DCS screen. Guideword determination for each transmitter node contained in LP Turbine 2 in Table 7.

Tabel 7 : *Guideword* Tiap Instrumen pada node IP *Turbine* 2.

Instrument	Guideword	Deviation
MAC11CP001	High	High pressure
MAC20CT011A	High	High temperature
MAC20CT071A	High	High temperature
	Low	Low temperature
LBS31CP001	High	High pressure
LBS31CT001	Low	Low temperature

IX. V. DISCUSSION

ERP aims to explain the development of emergency response in the event of a fire. So that the activity can be carried out in their evacuation to maximize safety. In another part daminimation fire damage. The scope of ERP include; throughout the facility steam turbine unit 5 at risk of fire. Personal responsive, calm and in control of the fire is very important for the purpose of ERP is reached. ERP claimed responsibility for liability associated with multiple parties; Operation manager, shift manager, control room engineer, Unit controller, assistant controller unit, plant operator, fire team, the Core team and all employees have the training for fire emergencies that have Stages of ERP was conducted by the company include [8].

a. Preparation ERP Prevention. Equipment is prepared when the fire control system is run. Provision of fire hose rack cabinet for each level of the plant and the room in the CCR CO2 system for each bunker, Sprinkler system for building CCR, while the means of communication and warning covers, provision of emergency communication equipment in strategic places such as telephone and radio. and installation of fire alarms in vulnerable
b. ERP procedures in common procedures, when first found out there was a fire [8]. Nearest fire alarm immediately, contact CCR-4444 and report the location of fires, casualties and damage to plant when the fire, put out the fire with a fire extinguisher available for employees who are able and have the training to deal with fires and help anyone (employees, contractors and users) who may need a tool to help achieve the assembly point, report to the fire warden on duty at the scene of the fire and evacuation orders if they received it promptly using the fastest and most secure and should not use the elevators and gathered in assembly point until further instructions.
c. The Emergency Incident Controller (EIC) made by the shift manager is as follows:

- Immediately turn the fire alarms are available at a nearby location;
- Contact the core team and the fire truck with the radio channel 1 or IPMOMI MCR by phone 771 967 Ext. 7777 and 7000;
- Turn off the HVAC system around the fire location if automatic shutdown is not working;
- Contact fire brigade with number 0335-113
- Contact power companies with number 771805 ext.5007 or ext.5022
- Contact the police with the number 771 110
- Contact medical personnel (first aid team) if necessary
- Ensure the number of personnel involved in fire incidents
- Ensure all personnel to handle emergencies in a safe condition
- Complete report emergency incidents
- Ensure data is recorded fire incidents in Accident (Injuries) Record Book
- To fire the fatal results, please contact the relevant number corresponding help required.

d. Station Manager and / or Operations Manager; Tell the EIC to deal with fires and do the environmentally sustainable communication about good corporate companies, residents, and the media if necessary.

e. Head (The Head of Section); Tell to all who were in the plant to immediately gather at assembly points and to inform the number of personnel who handle fire incidents at EIC, both of which have not been recorded or missing.

f. Main Plant Operations; Still do plant monitoring and reporting to the Control Room Engineer, make sure the location of the fire was no electricity, fuel, gas, chemicals or other hazardous materials and WTP operators keep monitoring Fire Pump house. And probed Stand by the radio channel 1.

g. Contractor employees must report to the Head of Department / Engineer Representative on the number of contract workers who are in the assembly point. If any employee is missing contractors, the contractor informs Supervisor Head / Engineer and Permanent Representative at the assembly point to be there the next instructions.

h. Core Team Shift and Shift Fire team, soon gathered at the spot determined by radio after knowing the fire alarm goes off and use PPE and Fire Protective Clothing, use breathing apparatus as instructed by the team leader or if necessary and fire safely.

i. Fire Warden, guiding and organizing the evacuation of employees, make sure that the visitor has been on the assembly point, keep communication with employees and contractors. Navigate to the safe evacuation assembly point and remain at the assembly point until further instructions and always stand by the radio channel 1 to the instructions of the shift manager.

j. Medical officers, setting up clinics to treat the injured person (if any) after being informed of the fire, Prepare ambulance, medical box and Burn-Pac to be brought to the scene if needed and always stand by the radio channel 1.

k. Security Officer, Set reasonable access for firefighting fire location, Towards a secure location for the scene of the fire and keeping entry only for the interested (fire truck, paramedics, ambulance, etc.) and Set and open access gateway for outside help fire truck if necessary

l. Procedure of Fire Extinguishing:
   - Small fire: If the fire is still early stages, a possible source of the fire can be extinguished with a fire extinguisher (fire extinguisher) or other firefighting equipment such as dry chemical powder contained in the steam around the turbine hall. Outages should continue until the fire can be extinguished or until fire extinguishing action team took over. However, be careful when doing burnout and do not push yourself if you feel able to extinguish the fire.
   - Large fire: any hazardous equipment on the turbine hall is equipped with automatic fire detectors and sprinklers are located on the main turbine, generator bearings and feed water pump system. During fire fighting, fire team and core team are required to use PPE, full face breathing apparatus and fire protective clothing. Fire area should be isolated and placed barricades around the scene of the fire. Security must be outside the barricades to keep the entry scene of the fire. Fire personnel team and core team must work together and follow the instructions given by the fire team incident commander. Chill all of the equipment that was in the location of fires and reduce the heat to the water. For massive fire use unmanned hose holders or monitor nozzles to minimize the number of personnel involved fire team.

m. Procedures for Cases of Fatal Fire; Fires are not immediately extinguished or are difficult to extinguish very dangerous because it can cause the turbine caught fire and exploded. If the turbine to catch fire and explode, likely the fire will hit the UCA building. Therefore, if the fire cannot be extinguished quickly, give warning all existing employees in the building and quickly UCA shutdown units, coal, ash handling plant, and HVAC systems. All employees in the building were evacuated and UCA guided by a fire warden on duty to the assembly point located near the Emergency Generator No. 1.

n. In the process of evacuation, fire warden will guide the employees and the people who were

heading to the scene of the fire assembly point (Evacuation Map). In this, the chosen path is the fastest evacuation and safe to use. Here is a map to the steam turbine building evacuation in case of fire. In Figure 4 is known that the steam turbine unit 5 on steam turbine building that it will also include steam turbine for unit 6. Steam turbine building is located in the south building CCR, plant and plant unit 5 units 6. Assembly point near the building of steam turbine assembly point is located at the front (north) building CCR or near Emergency Generator No. 1. Therefore, to get to the assembly point there are two paths, the first path through the exit on the steam turbine building contained the ladder down and then straight to the assembly point. The second path is through the CCR building then down to the lift, if possible using current can fire escape on the side of the elevator [9-10].

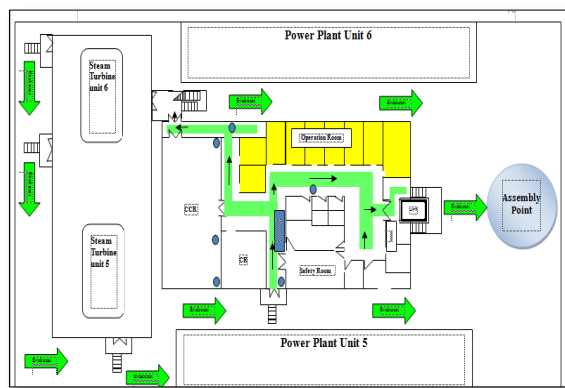



Fig. 4: Evacuation maps on Steam Turbine for Steam Turbine Building and CCR.

VI. CONCLUSION

Based on the results of the method HAZOP hazard analysis and risk management in the steam turbine, it was concluded that the most dangerous conditions in the steam turbine is a known high pressure conditions of pressure transmitter on node HP turbine, Turbine IP, LP turbine and LP turbine 1 to 2 cause the turbine over speeding as mentioned in the table HAZOP. Recommendations to overcome these hazards, among others, the installation of alarms for pressure, automatic simulation test turbine, turbine over speed protection inspection and calibration as well as checking on the transmitter pressure. Fire is one of the hazards that are likely to occur in steam turbine that can cause an explosion if not addressed and dealt with seriously and systematically. Therefore, made an Emergency response plan (ERP) to in order to minimize the risk posed by fire.

VII. REFERENCES

Ali Musyafa, Ronny D.N, 2012, Hazard and operability study in Pulpurizzer of the steam power plant, IJSTE , International Journal of Science and Technology Vo.1 No.3. ISSN : 2255-5297 September [1]

Asmudi. 2007, “Analysis of performance Boiler to power degradation in PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak”. Journal of final project, Teknik Sistem Perkapalan ITS [2].

Australian Standard/ New Zealand Standard 4360:1999.1999. *Risk Management*. Australian Standard.[3]

Dhillon, B.S., 2005, “Reliability, Quality, and Safety for Engineers”. London: CRC Press. [4].

Ebeling,Charles E.1997. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc. [5].

Hyatt, Nigel.2004. Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis. Richmond Hill: Ontario. [6]

Iviana Juniani, Anda., 2008, Implements Met ode HAZOP in Prose’s Identification hazard and Risk Analysis at Feed water System in Unit Power plant Paiton, PJB. Proceeding Engineering HAZOP. PPNS, ITS [7].

Jawa Power and Siemens. 1998. Balance of Plant. Training Manual Volume 1 of 2 Paiton Private Power Project Phase II. Jawa Power [8].

Juniani, dkk.2011. Implements Met ode HAZOP Identification hazard and Risk Analysis at *Feed water System* in Unit Pembangkitan Paito, PT.PJB. Prosiding Teknik K3 PPNS ITS Surabaya.[9]

Montgomery, Douglas C., 1999, “Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition”. United States of America. [7] Standards Association of Australia,” Australian Standard: Risk Management AS/NZS 4360” [10].

PMI - Health and Safety (H&S) – 450. Emergency Management Procedure. *Safety and Fire System Department* PT. YTL Jawa Timur [11].

Siemens. 1997. KKS Identification System for Power Plant: Function Key, Equipment Unit Key, and Component Key. Jawa Power[12]

SINTEF, 2009, Industrial Management. “Offshore Reliability Data Handbook 4th Edition”. OREDA Participants, 2000, [13].

RISK MANAGEMENT USING HAZOP STUDY METHOD BASE FAULT TREE ANALYSIS ON EMERGENCY SHUTDOWN SYSTEM-VACUUM DISTILLATION UNIT, PT. PQR, DUMAI-INDONESIA

A. Musyafa, L.M Dewina, R.D. Noriyati , dan I Abadi
Department of Engineering Physics, FTI, Sepuluh Nopember Institute Of Technology, Surabaya, INDONESIA
Email: musyafa@ep.its.ac.id

Abstract – *Feed of reboiler heater system from PT. PQR is the object of study used to design risk management . The risk of failure on ESD components in reboiler Feed Heater is a plant shutdown. This study uses risk management to identify and calculate the risk of failure on plant reboiler feed heater, so that risks can be avoided resulting in increased losses of the company. Some of the causes and consequences of failure risk analyzed using HAZOP Study, while the development of the failure mechanism is analyzed using the FTA. Incorporate risk management to measure the likelihood and consequences of a risk score. Likelihood value is the frequency of failure each year in the form of MTTF values. Value of the consequences is the cost of failure in any component which is derived from multiplying the cost of repairs (CR) with a magnitude of Mean Time to Repair (MTTR), in addition to the value of the consequence is wasted time when there is a failure; it is derived from the MTTR. From the research that has been done can be seen that, the component with the highest risk score is FT1017C on Feed Pass # 2 flow. The consequent loss related to environment and personnel losses due to accident not been discussed in this study.*

Keywords: Risk Management, Likelihood, Consequences, HAZOP, Fault Tree Analysis.

X. I. INTRODUCTION

Feed reboiler Heater is one of the most important components in the VDU unit at PT . PQR - Dumai. In the control system should have automatic shutdown systems so that emergencies can be anticipated in a proper way. The possibility of failure that occurs in the process in the VDU unit will cause a plant shutdown and be one cause of distracted or bogged VDU unit, such as decreased production process, the cost of repairs is likely to increase, safety is not guaranteed, and loss of production time lost. Moreover, the failure cannot be predicted when it will happen and how the losses caused by the failure.

Management is a structured process that aims to improve the effectiveness of the management of potential opportunities and minimize risk. Managing risk is a systematic process that can be used to make decisions to improve the effectiveness and efficiency of the company's performance. Managing risk is to identify an event that hurt the company in the future. This includes taking action to avoid or reduce the things that are not desirable company. This is what lies behind the need did a study to determine any potential hazards in the system and calculate the value of the risk in order to analyze and avoid risks that could hurt the company.

By knowing the risk, the relative size of the security system that is in progress can be known. Thus expected to provide recommendations appropriate maintenance so that the components in a system can function well with the design of ESD logic solver on the system in case of process safety hazards (hazard) causing plant shutdown. In the event of plant shutdown is expected to occur no harm risk. One method that can be used to manage the risk of harm (risk) is a method of Hazard and Operability (HAZOP) Study and Fault Tree Analysis (FTA).

To further how the actual process that occurs in the rebuilder Feed Unit Heater in the VDU works (Description process) and identifies the parameters of what is harmful to the process. How to analyze various parameters that exist by using Hazard Operability (HAZOP) Study and Fault Trees Analysis (FTA) for rekomemendation then generated from a variety of possibilities that will emerge. How ESD safety system on Unit VDU HAZOP study with regard to the outcome and FTA so as to create an optimal risk reduction.

XI. II. MATERIALS AND METHODS

This study aims to identify the hazards that would arise from a design and operability, Analyze and evaluate the risks the design and operability of a process on the VDU unit. Designing risk management in the ESD system HAZOP method based Fault Tree Analysis (FTA) to improve the safety of Existing installation. Conduct a review of Feed System reboiler Heater System; VDU (Vacuum Distillation Unit) using Un Converted Oil

(UCO) generated HCU as bait to produce distillation 100D and 150 D are then used as bait on Catalytic dew axing unit (CDW). HCU minimum feed: 130 m3/hr, maximum feed: 208.66 m3/hr (after revamping [1].

Feed reboiler heater Heater is the source for the separation of UCO feed on vacuum tower with 8 pass. FC1014 to FC1028 when the maximum set of feeds: 62 kl / hr, when a train 56 kl / hr. Flow P0108 vacuum bottom (reboiler circulation pump) and mixed with feed UCO then inserted into the feed reboiler heater (H0101). Flow control (FT1015A/B/C up with FT1029 A / B / C) mounted on each pass and the flow is controlled by the tube skin temperature of each pass (Max tube skin temperature: 400 ^{0}C). If the stream below the set point defined as plugging or other reasons then logic will be activated automatically and H0101 will be shutdown. The following are the main parts of the feed reboiler heater shown in Figure 1.

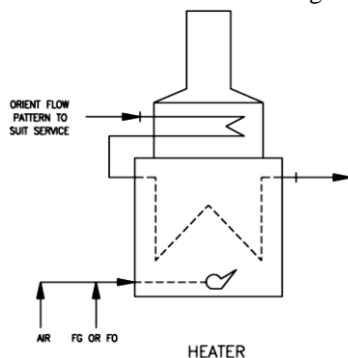



Fig. 1. Feed Reboiler Heater [2].

Risk is a combination of Likelihood and Consequence . Likelihood is possible within a time period of a risk they will appear. Historical data is used to determine and estimate the probability. Probability calculation is commonly used frequency. Consequence is a result of an event that is usually expressed as a loss of an event or a risk. Risk calculation is done by multiplying the value of the Likelihood Consequence, where examples of the consequences for a risk. (Losses $) and Likelihood = frequency of failure for a given risk, examples per year.

Initiating the Risk Management Process contains steps that may be in the planning process consisting of risk management; Identify problems and or questions about the risks that may arise. Arrange (for) background information or data that may be potentially harmful (destructive or inhibiting), identify the resources required and determine timeliness in decision-making.

Risk Assessment is the process of identifying the value of damage (severity), analysis and evaluation of risk include: Risk identification is the use of data or information system to recognize (identify) the danger that led to the description of the problem that has been created, Risk analysis (risk analysis) is an estimate of the combined risk and hazard identification and risk Evaluation. At the evaluation stage can be compared between the identification and analysis of risks that will get the results as a material consideration to address the issues or resolve risks.

In the process of risk management can be used to facilitate a variety of analysis tools to analyze the situation at hand. Some tools that can be used include: Basic risk management facilitation methods (flowcharts, check sheets, etc...), Fault Tree Analysis (FTA), Hazard Operability Analysis (HAZOP), Preliminary Hazard Analysis (PHA), and Risk ranking and filtering

The methodology used in the design of risk management is the HAZOP study and FTA (Fault Tree Analysis). Some preliminary information is needed before making a HAZOP Study , among others ; Preliminary include Process Flow Sheet HAZOP / Process Flow Diagram (PFD or PFS) and Description of the process , as for HAZOP Details include: Piping and Instrumentation Diagram (P & ID) , Process Data Sheets (Heat and Material Balance) , Instrument Data Sheets , Interlock Schedules Schedule of alarm and trip settings , cause and effect chart.

Having fulfilled all the required information , it can be done HAZOP Procedure , as for the following stages ; division of the system into several parts based on the components of the most important processes , stages Election study (such as line , vessel , pump , and operating instruction) , describe the purpose of the design (design Intent) , Process parameters Selecting , Implementing Guide- Words , Identifying the causes that exist , Evaluating emerging issues and define the possibilities of potential hazards and provide a good recommendation action safety system action or recommendation.

Fault Tree Analysis (FTA), there are three step the FTA analysis, which includes; identification system to be analyzed, the top event is the focus of this analysis. What is the condition when the system starts up, or whether his failure level later he was safe when operated; for achieving top event, the identification of the relationship of each component in the system whether it will act as the primary event and intermediate events. This relationship is used in the form of a fault tree moving parts / components of the system to the smallest of the top event (system as a whole). In the manufacture of the fault tree are some of the symbols used and qualitative evaluation of fault tree, Boolean algebra is used to calculate numerically the probability of system failure. With corellation logic gates and mathematical rules for corellation there are tables of logic gates into a mathematical model. Failure distribution in this research, statistical distributions used were normal and weibull distribution. There is a term in the Weibull distribution function solid chance (probability density function) are weibull distribution:

$$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1}\exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (1)$$

where:

η = scale parameter, η>0

β = shape parameter, β>0

γ = locations parameter

$$MTTF=\beta\Gamma\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)$$

(2.32)

$$\text{Dimana :}\quad \Gamma(n)=\int_0^{\infty}x^{n-1}e^{-x}dx \quad (2)$$

For systems with lognormal distribution, If the random variable T (time of failure) has a lognormal distribution, logarithmic T has a normal distribution. Density functions for the lognormal distribution opportunities are:

$$f(t)=\frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t-\mu}{\sigma}\right)^{2}\right] \quad (3)$$

MMTF = μ (4)

III. METHODOLOGY

In this study work necessary steps which include; Distribution System Node Being Study. This is the initial stage of the identification process. Study node is split based on the sequence of production processes and parameters that can lead to plant reboiler Feed Heater (H0101) shutdown. For Multiple Node Data Collection and Data Verification, in this stage is collecting data of each sensor measurement which can result in plant shutdown Heater reboiler feed that includes variable Pressure and Flow. In the data collection, there are thirteen (13) points taken with the iteration time, data collection was done during the 8 days after the incident H0101 shutdown (March 1, 2009 01:00:00 until March 8, 2009 00:00:00) with duration every 1 minute. Due Identification , Causes , and if there is a hazard Preliminary Recommendations then identified what are the causes , effects, and recommendations. Then the identification is done on other nodes. If the node is no hazard, so the observations were made at the next node. If all nodes have been identified, then the HAZOP method is complete.

Describe Intention Design & Operating Conditions, the data obtained from measurements at 13 spots available, at this stage, the analysis of each point by a comparison of the data obtained to the data average calculations to determine the extent of the deviation occurs. The comparison of these two types of data using MINITAB 14 program package, and can be seen results calculation statistics such as mean, standard deviation, Upper Control Limit (UCL) and Lower Control Limit (LCL). The following example shows the calculation results in Figure 2.

Session

Descriptive Statistics: F-1015A

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
F-1015A	9180	0	59.304	0.00240	0.230	58.005	59.172	59.316	59.444

Variable	Maximum
F-1015A	60.232

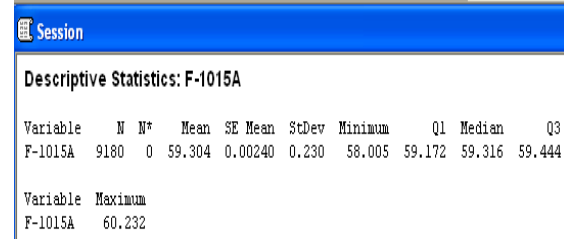



Fig. 2. Results of Statistical Calculation.

The next stage is the processing of the data by comparing the measured data with the design data, this comparison method Xbar Chart.

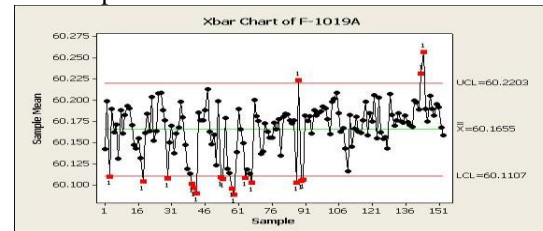



Fig. 3. Display of Grafik Xbar.

From the bar graph display X type of deviation can be analyzed. As in the picture above, look at the number of data that are above Control Upper Limit (UCL) and also the frequency of the data with a high value on the possible deviation of the histogram that appears is Less Flow. So forth analyzed one by one for each point on the existing 13 point and subsequently sought the causes and consequences of these deviations with reference to the Interlock schedule. Consider the following stage is the First and Next Guide Word. At this stage the local word used is determined based on the results of previous calculations. Here's your kind word shown are used by type of deviations, Table 1.

Table 1. Corelation of guide word and parametre [3].

Guide word	Parameter					
No	Flow	Pres.	Level	Temp.	Visc.	Cont.
Loss	*					
More	*	*	*	*	*	
Part of	*	*	*	*	*	
As well as						*
Reverse	*					*
Other than						*

*) From table 1. Parameters used are the Flow and pressure.

Describe Intention Design & Operating in risk assessment and attributes that specify large or small of a risk.

IV. IDENTIFY ALL CAUSE, CONSEQUENCES AND RECORD

After determining the type of deviation at this stage analyzed the causes and consequence arising from such deviations. Risk Assessment is the next stage; this stage aims to get the leveling of the hazard that has been identified using HAZOP taking into account the probability and severity using the Risk Matrix. The risk is the main criteria

To determine the risk criteria used in this study, historical data necessary maintenance process

which has been carried out mainly on plant reboiler feed heater. These criteria are included Likelihood criteria associated with damage frequency component which is the value that indicates how often a failure occurs in a component of the equipment in the system over a period of time. Which in this study is the number of times the component is defective in each year? Researchers used data collected Time to Failure to have intervals for 9 months i.e. between the months of July 2008 to March 2009.

The data collected from the Work Order on the Performance and Maintenance Control, Operation and Maintenance PT.PQR Dumai. The data is processed to find the appropriate distribution for each component reboiler Feed System Heater. Determination of the distribution is a decisive stage distribution trends with the function of the system time changes. Criteria used by researchers is the likelihood that damage frequency component at a given time period. Likelihood values obtained from the ratio between the numbers of operating days per year to the value of MTTF.

Consequence criteria related to the loss by the Health and Safety Personnel is a consequence of the failures that occur in each component of the safety (Health and Safety) personnel who were around the plant area, the consequences can be death, disability, minor injuries that do not to cause defects, injuries requiring only first aid. Losses based on repair costs, is the cost to the company due to repairs to the damage that occurs in each equipment, in this case includes the cost of replacing spare parts, labor costs and consequences of the company's operations. And losses based on time (Discontinuity days), is time wasted when the equipment is lost or damaged. Distribution Model determination using the program package Reliability Weibull + +6, this software is used to test the data time between failures and repair cost data [4-5].

XII. V. RESULTS

Analysis and Interpretation, at this stage of the analysis and interpretation of the results of the retrieval and processing of data and the results of the risk evaluation. Determination of the risk level using the risk matrix. At the risk matrix of criteria for each class in the likelihood and consequences of a discussion with the company. The next stage is the Phase Simulation Logic Solver in ESD System. After going through the next stage of the risk evaluation is simulating it in the form of risk management simulation on Emergency Shutdown systems using software Prosafe-RS and CENTUM CS3000, which is shown by Fig.4-5 as follows.

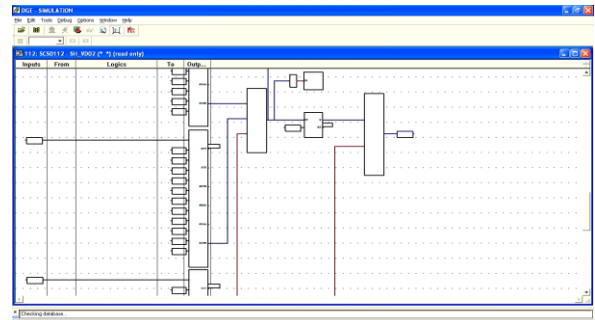



Fig. 4. Example Program with Prosafe-RS.

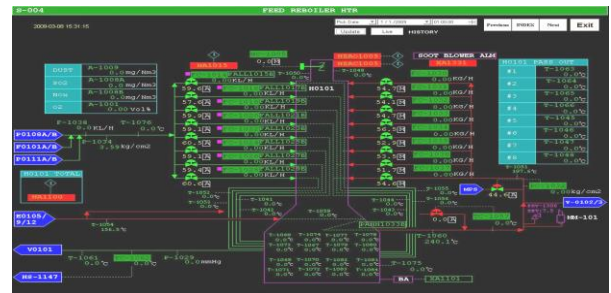



Fig.5. Simulation with Centum CS-3000.

Each Node Analysis and Determination of the deviation, as already described in the previous section that there are 13 points that affect the ESD system of the entire feed reboiler heater system to be analyzed, with the only parameter being measured pressure and flow. The following is an analysis of one of these points. The next node is Node1.Feed Pass # 1 Flow (FT-1015A/B/C), this section is the initial part of the input into the reboiler feed heater system. At this point in measuring the amount of flow at the beginning of the input (feed Pass # 1), namely UCO Feed which is the output of the Vacuum Tower reboiler Feed (P01008A / B) and UCO Feed (F0101A / B). Description of the sensor is shown in Fig. 6. [6-7].

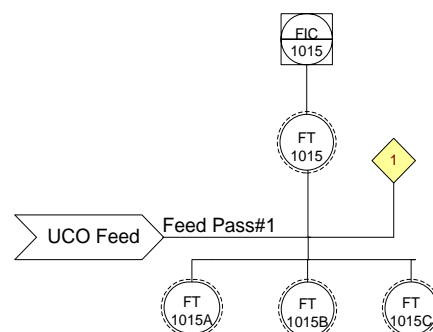



Fig.6. FT1015A/B/C.

From the data obtained later analyzed and searched the value of the UCL, LCL, standard deviation, and the mean is shown by Fig. 7. In the same way also count for the performance of the transmitter; FT1015B and FT1015C. Subsequently analyzed in the model Xbar-R to find out irregularities that occurred in devise transmitter.

Session

Descriptive Statistics: F-1015A

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
F-1015A	9180	0	59.304	0.00240	0.230	58.005	59.172	59.316	59.444

Variable	Maximum
F-1015A	60.232

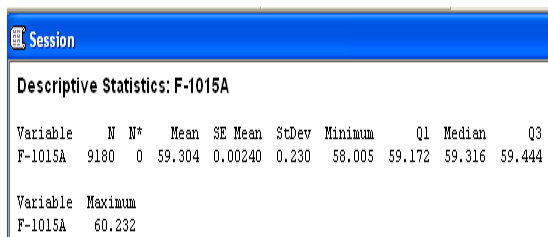



Fig. 7. Calculation results of FT1015A.

Figure 8. Plot is a graph of values FT1015A with UCL values: 59.3822 kl / h, Center line: 59.3035 kl / h and LCL: 59.2249 kl / h, can be seen the tendency of data is below the LCL. Thus the deviation of ESD components FT1015A is Less Flow. Processes that occur in Feed Pass # 1 Flow included in the normal operation of the process because it is still included in the limits tolerated by the plant H0101. In the same way for the other transmitter made; Xbar-R Chart of FT1015B and Xbar-R Chart of FT1015C. Results of measurements on Feed Flow Pass # 1 is still in the design process within normal limits. Because it does not exceed the high setting, high high, low and low low. Setting low: 55.00 kl / h, low low: 15:00 kl / h, high: 67.0 kl / h, high high: 80.00 kl / h. The following is a summary of the analysis of the deviation of each component of ESD. [8].

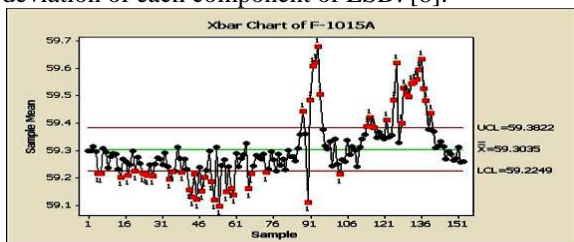



Fig. 8. Xbar-R *Chart* of FT1015A.

Identify Cause Identifying the cause of the deviation is based on the study of P & 1D, Interlock Schedule, and also manual book of reboiler Feed Heater. Identify and Consequence for HAZOP Study using FTA , reboiler Feed Heater H0101 will trip or die if one of the few events occurred , i.e. Feed # 1 Flow low low Pass , Pass # 2Flow Feed low low , etc. . Failure that occurs in some of the event can be caused by the detection of two of the three transmitters (2oo3 system) which is attached showing the value of the input and output low low transmitter module on safety control station in case of error. With the possibility of system failure can 2oo3 breakdown be some event that is for example in the Feed Flow Pass # 1, A & B FT1015, FT1015A&C, B&C, FT1015, FT1015A&B&C.

Failure to know the Probability Density (PDF) on the Top Event is H0101 shutdown, then the first calculation PDF on every basic event. Evaluation Function Solid Opportunity (pdf) FT1015 A & B LLLn done by performing quantitative analysis on the data history events LLLn , then the results of the test data distribution time between failures of FT1015 A & B LLLn most suitable is the Weibull distribution 3 (rank 3) , with parameters : β = = 0.1565 .γ0.4870 ; η = 158.7999 , and By equation (1) with the parameters that have been obtained , it can be determined the function of solid opportunities (puff) for FT1015 LLLn A & B are as follows [4-5].

$$f(t)=\frac{0.4870}{158.799}\left[\frac{t-(0.1565)}{158,7999}\right]^{0..4870-1}\exp\left[-\left(\frac{t-(0.1565)}{158,7999}\right)^{0.4870}\right]$$

From computation nodes A and B FT1015 LLLn failure probability values obtained for 0.9137 with T = 1000 days approach, in the sense that at the time of 1000 days (from March 2009) FT1015 conditions LLLn A & B has a value of probability of failure of 0.9137. Evaluation Function Solid Opportunity (pdf) IOM FT1015 A & B Channel Error, done by performing quantitative analysis on the data history events IOM channel error, then the results of the test data distribution time between failures of IOM FT1015 A & B Channel Error is the most appropriate is the Weibull distribution 3 (rank 3), with parameters: β = 0.4813; η = 124.3249; γ = 0.0390. By equation 1 with the parameters that have been obtained, it can be determined the function of solid opportunities (pdf) to the IOM FT1015 Error Channel A & B are as follows:

$$f(t)=\frac{0.4813}{124,3249}\left[\frac{t-(0.039)}{124,3249}\right]^{0..4813-1}\exp\left[-\left(\frac{t-(0.039)}{124,3249}\right)^{0.4813}\right]$$

From computation nodes IOM FT1015 Error Channel A & B failure probability values obtained for 0.9346 with T = 1000 days approach, in the sense that at the time of 1000 days (from March 2009) IOM condition FT1015 Error Channel A & B has a value of probability of failure of 0.9346 . Evaluation Function Solid Opportunity (pdf) FT1015 A & B LTPn done by looking for opportunities failures FT LTPn 1015 A & B is the event where FT1015A & B produce a trip signal to H0101. PDF calculations of A & B LLLn FT1015 and FT1015 IOM Error Channel A & B can be calculated for pdf FT1015 A & B LTPn using the operation shown in Table 2. Following.

Table 2. Operation Gate OR dan AND.

Gate	Input	Outpur
OR	P+P	P
	F+F	F
	F=P	Not OK
AND	PxP	P
	FxF	Not OK
	FxP	F

Logical relationships are shown in the following equation 5-6

AND GATE: P(A.B) = P(A) x P(B) (5)

OR GATE: P (A+B) = P(A)+P(B)-P(A)xP(B) (6)

On modeling FTA for FT1015 A & B LTPn form OR GATE, then the PDF for FT1015 A & B LTPn are as follows: P (FT1015 A & B LLLn + IOM FT1015A & B Channel Error) = P (FT1015 A & B LLLn) + P (IOM FT1015A & B Channel Error) - P (FT1015 LLLn A & B) x P (IOM FT1015A & B Channel Error) P (A & B LTPn FT1015) = 0.9137 + 0.9346 - 0.9137 x 0.9346 thus, P (A & B LTPn FT1015) = 0.99436.

XIII. VI. DISCUSSION

Of calculations on FT1015 A & B LTPn failure probability value obtained by 0.99436. That means the chances of a trip H0101 flow due to the detection of very low signal from transmitter FT1015 A & B of 0.99436. The Opportunity Compact Function Evaluation (pdf) FT1015 A & B LTPn After doing the calculations pdf for each basic event contained in the FTA, we can see the magnitude of Failure Probability Density shutdown on reboiler Feed Heater H0101. PDF H0101 shutdown is equal to 0.9846, it means the opportunity H0101 trip or death caused by a high enough one of the basic event. Recommendations made by the researchers in order to trip in the event H0101 over safety conditions can be seen in HAZOP Worksheet.

Determination of the Damage Distribution Between Time Reliability program package Weibull + + 6 is used to test the data time between failures, long time data improvement and repair cost data. The test results will be obtained in the form of a representative distribution model for these data. Example: P1146A (Pressure Transmitter for Atomizing Steam), Time between damage (days) is 0.024027778; 0.050798611; 7.8015625; 1.80505787; 0.593217593; 11.84166667; 1.084953704; 16.40569444. Having tested turns 3 Weibull distribution with the following parameters: Beta (β) = 0.3662; Eta (η) = 3.3676; Gamma (γ) = 0.0198; Γ (n) = 4.32367757; MTTF=14, 56042 days; Likelihood = 25.06796 / year For PT1146A ESD components, has Weibull distribution with parameters 3 Beta (β) = 0.3662; Eta (η) = 3.3676; Gamma (γ) = 0.0198 so MTTF for Weibull distribution following results [9-10].

$$MTTF = 3{,}3676\Gamma(1+\frac{1}{0{,}3662}) = 14{,}56042\,hari$$

So that the MTTF values indicate that the predictable component of ESD damage in an average time of every 14.56042 days. Likelihood value was sought after by dividing the number of days the unit VDU run prodeksi a year with the value of the MTTF. Because a VDU unit never stops running distillate production 100D and 150D (B / D, the company assumed production run for 365 days. Then the calculation is as follows:

$$\text{Likelihood value} = \frac{365}{14{,}56042} = 25{,}06796.$$

So Likelihood value for P1146A is 25.06796 per year or in other words that the frequency of occurrence of damage is 25.06796 times per year. In that is table that contains values for each component Likelihood ESD. Any deviation from the values obtained ESD components, that component has the highest damage ESD PT1146C at 154.039596 times per year. The determination of the consequences of this risk is divided into two criteria, namely the loss based on the time and losses based on repair costs. And the calculation of damages based on time, any damage that occurs can lead to losses in terms of time, where time is wasted when a risk of damage to occur can be searched using the MTTR calculation. MTTR is the average interval of time is wasted to make improvements for the damage. For PT1146A ESD components, which have a Waybill distribution with parameters 3 Beta (β) = 2.9987; η = 4.5023; γ = 2.0363 so the MTTR for the Waybill distribution is obtained as follows:

$$MTTR = 4{,}5023\Gamma(1+\frac{1}{2{,}9987}) = 4{,}020385\ hour,$$

So the loss of time is wasted if the transmitter component of ESD damage, the average is equal to 4.020385 hours. MTTF value and likelihood of each component indicated that ESD ESD components which have the highest damage time are FT1017C Flow Transmitter (Feed Pass # 2Flow) with decay time of 50.876476 per hour once the damage. Losses are calculated based on the cost of repairs loss calculation can be obtained from the sum of the cost of replacing the ESD component multiplication MTTR values and CV values. CV value is itself a labor cost of repairs to the equation as follows; CR = Cf + (CV x MTTR) ESD component replacement costs are costs incurred for procurement of components ESD until ready for use. The price of each component is installed and ESD related events reboiler Feed Heater (H0101) shutdown is as follows:

a. Pressure Transmitter (PT1033 A / B / C, PT1036 A / B / C, PT1142 A / B / C, PT1146 A / B / C, PT1149 A / B / C) = U.S. $ 1,500 = CHF 1.773 million
b. Flow Transmitter (FT1015 A / B / C s / d FT1029 A / B / C) = U.S. $ 1,500 = CHF 1.773 million
c. Input-Output Module Prosafe Rs = U.S. $ 1,500 = CHF 1.773 million.

In the MTTF value and Likelihood Each Component ESD explained that, the level of likelihood and consequence of each component in the ESD reboiler Feed Heater (H0101). Knowing the risk level of each component of ESD, the management and maintenance will be able to more easily take the maintenance policy priorities. Based on the results of the calculation of the level of risk in each ESD components can be analyzed that one of the ESD components identified as having the 2nd level of risk is PT1146C (Atomizing Pressure Transmitter on the line) . ESD component is identified with less pressure deviation, probability of failure (likelihood) likely, and the level is Low and negligible consequences, which lead to system cannot operate. Failure data on

ESD components 3 PT1146C show weibull distribution with parameter β = 0497, η = 1174, and γ = 0:03. Recommendations for level - 2 is a risk to take measurements for a reduction in the value of risk mitigation by risk level to 3rd.

The following recommendations are given for each level of risk based risk which Matrix has been approved by the company.

Table 3. Recommendation for each risk level.

Risk Ranking	Basis of Recommendations
1	Intolerable (Mitigate into Risk Ranking below "3" and additional risk reduction measures required)
2	Incorporate Risk Reduction Measures (Mitigate into Risk Ranking below "3") and managing risk ALARP (As Low As Reasonably Practical)
3	Manage for Continuous Improvement (Recommendations can be proposed in terms of operability)
4	Manage for Continuous Improvement (Recommendations can be proposed in terms of hazard)

VII. CONCLUSION

HAZOP Heater reboiler feed system data shows that the highest risk level of one in the components of ESD Flow Transmitter (FT1017C) Feed Flow Pass # 2, with 2nd level of risk. From the calculated value of the frequency of component failure, it is found that the ESD component on the H0101 which has the highest frequency of 154.039596 times per year i.e. PT1146C. From the calculation of damages based on time, showing that the ESD components which have the highest damage time is FT1017C. Time for damage once the damage 50.876476 hours each. From the calculation of damages based on the cost of repairs has shown that the highest damage repair costs are PT1146C (Atomizing Steam Pressure Transmitter for Line) at a cost of KWR 287,446,615.46. Through HAZOP Study can provide recommendations for improvement and work instructions , and can identify the cause of Hazard as a study, and the calculation for each basic event contained the results of FTA modeling , we can see the magnitude of Failure Probability Density shutdown on reboiler Feed Heater H0101 is equal to 0.9846.

VII. REFERENCES

[1] Det Norske Veritas AS, 2007, msm^2 : Building Risk Competence, Norway.

[2] PT.PATRA SK, Process Description Feed Reboiler Heater at VDU Unit, 2008.

[3] Jurnal ilmiah *Facility Risk Review as A Means To Addressing Existing Risks During The Life Cycle of A Process Unit, Operation or Facility*, W.P.G Schechter, Specialist Process Safety, Sasol Group Companies, Republic South of Africa.

[4] Ebeling, Charles E. 1997. An Introduction to Reliability and Maintenability Engineering 2nd Edition, the McGraw-Hill Companies, New York.

[5] Macdonald, Dave. Practical Industrial Safety, Risk Assessment, and Shutdown Systems, Newness An imprint of Elsevier in acre House, Jordan Hil oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington. 2004.

[6] Macdonald, David. Practical Hazop, Trips, and Alarms, Newness An imprint of Elsevier in acre House, Jordan Hill oxford OX2 8DP 200 Wheeler Road, Burlington. 2004.

[7] Bartollozi,Castiglione, 2000, Qualitative Model Equipment Unit and Their Use in Automatic HAZOP Analysis, Chemical Engineering, University de Palermo,Vialle Delle Sience, Italy.

[8] Ali Musyafa, Ronny D.N, 2012, Hazard and operability study in Pulpurizzer of the steam power plant, IJSTE, International Journal of Science and Technology Vo.1 No.3. ISSN : 2255-5297 September,

[9] UNEP. Devices of Thermal Energy : Boiler and Fluid thermal Terms. URL:http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter - Boilers .

[10] Dhillon, B.S., 2005, "Reliability, Quality, and Safety for Engineers". London: CRC Press.

42 MODEL SISTEM INFORMASI PENDATAAN BENCANA SECARA PARTISIPATIF BERBASIS ANDROID

Aris Tjahyanto
Sistem Informasi FTIF, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Email: aristj@its.ac.id

Abstrak – *Indonesia merupakan sebuah negara yang secara geografis merupakan daerah rawan bencana, yang disebabkan oleh alam maupun non-alam. Bencana berpotensi untuk menimbulkan korban jiwa, pengungsian, kerugian harta benda, dan kerugian dalam bentuk lain yang tidak ternilai. Penanganan bencana yang ditimbulkan oleh alam atau non-alam perludilakukan secara menyeluruh dan terpadu mulai dari prabencana, tanggap darurat dan pasca bencana yang meliputi kegiatan pencegahan, kesiapsiagaan, penanganan darurat hingga pemulihan termasuk penanganan pengungsi dengan lebih menekankan aspek penanganan bencana ke upaya penanggulangan kedaruratan, yang memerlukan kecepatan dan ketepatan bertindak. Sebuah sistem informasi pendataan bencana yang menekankan pada kecepatan dan ketepatan dapat bertumpu pada masyarakat dan teknologi yang sekarang umum tersedia di negara kita, yaitu teknologi yang berwujud ponsel cerdas berbasis Android.Dengan ponsel cerdas tersebut, informasi dapat disampaikan secara partisipatif oleh masyarakat melalui SMS, twitter, ataupun Internet. Sebuah SIstem Pengelolaan Data dan Informasi Kebencanaan partisipatif (SIPDIK) dapat dilengkapi dengan fasilitas pengiriman data berupa gambar, foto, posisi lokasi, atau data tekstual. Sistem SIPDIK juga memfasilitasi pengguna untuk mengeksplorasi seluruh kegiatan yang berkaitan dengan suatu bencana. Sejumlah laporan dan kueri dapat dibangkitkan berdasarkan pada pilihan yang berkaitan dengan lokasi bencana (kota, kecamatan, kelurahan, koordinat GPS), informasi tentang korban, bantuan yang dibutuhkan, maupun bantuan yang sudah tersedia.*

Kata Kunci*:* penanggulangan bencana, ponsel cerdas, purwarupa perangkat lunak, partisipasi masyarakat.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki kondisi geografis, geologis, hidrologis dan demografis yang memungkinkan terjadinya bencana, baik yang disebabkan oleh faktor alam, faktor non alam maupun faktor manusia yang mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, dan kerugian material serta non material.

Dalam Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, dicantumkan bahwa pemerintah pusat dan pemerintah daerah bertanggung jawab dalam penyelenggaraan penanggulangan bencana, mulai dari tahap prabencana, saat bencana sampai dengan pasca bencana. Disebutkan juga bahwa terdapat tiga pilar utama yang terlibat dalam penanggulangan bencana, yaitu: pemerintah, masyarakat, dan dunia usaha atau pun lembaga internasional.

1.1. Peran Masyarakat

Sebagai salah satu pilar penanggulangan bencana, masyarakat berkewajiban memberikan informasi yang benar tentang penanggulangan bencana. Peran masyarakat tersebut dapat dilaksanakan melalui upaya penanggulangan bencana untuk tahap prabencana, tanggap darurat dan pasca bencana.

Gambar 1. Tiga Pilar Penanggulangan Bencana menurut UU No. 24 Tahun 2007.

Masyarakat juga berhak dalam perencanaan, pengoperasian, dan pemeliharaan program penyediaan bantuan; berpartisipasi dalam pengambilan keputusan terhadap kegiatan penanggulangan bencana, serta melakukan pengawasan sesuai dengan mekanisme yang diatur atas pelaksanaan penanggulangan bencana.

Pada era Internet sekarang ini, tersedia bermacam-macam media yang dapat memperkecil keterbatasan jaringan informasi dan komunikasi dalam penyebaran informasi kebencanaan dari maupun kepada masyarakat. Dengan makin banyaknya sarana untuk melakukan komunikasi seperti ponsel cerdas, masyarakat dapat diberdayakan untuk makin meningkatkan peran sertanya sesuai dengan amanat Undang-Undang No. 24 tahun 2007. Selain itu kesadaran masyarakat untuk berperan secara aktif dalam penanganan bencana juga makin meningkat.

1.2. Standardisasi Data Kebencanaan

Data merupakan suatu hal yang sangat penting dalam sebuah sistem informasi. Sayangnya data kebencanaan yang tersedia di instansi pemerintah belum memiliki standar yang sama, umumnya dikembangkan oleh instansi secara mandiri, ujungnya menyumbang kerumitan saat diintegrasikan.

Penanganan bencana perlu didukung oleh ketersediaan data dan informasi yang akurat. Saat ini, data kebencanaan yang tersedia belum terintegrasi dengan baik. Pada sisi lain, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) telah mengeluarkan peraturan No. 8 Tahun 2011 tentang Standardisasi Data Kebencanaan yang meliputi alur pengelolaan data bencana, data prabencana, data tanggap darurat, dan data pasca bencana. Hanya saja standardisasi tersebut belum menyentuh level fisik data.

1.3. Faktor yang Berpangaruh pada Data Kebencanaan

Kualitas data dan informasi yang berkaitan dengan kebencanaan, dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain kecepatan, volume data, kemudahan penggunaan alat dan perkembangan teknologi. Faktor ketepatan dan kecepatan merupakan hal yang sangat penting berkaitan dengan fase tanggap darurat.

Dengan penggunaan teknologi yang tepat, faktor ketepatan dan kecepatan dapat dicapai. Penanganan tanggap darurat membutuhkan tindakan cepat dan tepat. Penanganan akan menjadi lamban bila informasi yang diterima tidak mencukupi. Akibatnya sebagian masyarakat yang menjadi korban bencana mengeluhkan belum meratanya penyaluran bantuan. Ketidakcukupan informasi, sebagai contoh juga berakibat bagi para relawan yang mencoba memberi bantuan secara langsung. Para relawan ini sangat mudah untuk tersesat bahkan terlantar serta tidak tahu apa yang harus dikerjakan.

1.4. Perlunya Sebuah Sistem Informasi Kebencanaan yang Terintegrasi

Saat ini, pada umumnya masyarakat memperoleh informasi kebencanaan melalui media massa seperti koran, radio, dan TV. Radio dan TV mampu memberikan informasi secara cepat dan terkini, akan tetapi tidak menyediakan dokumentasi yang gampang diambil atau dibaca berulang-ulang. Sebaliknya koran mampu menyajikan informasi yang mudah dibaca berulang kali untuk keperluan analisis lebih lanjut, akan tetapi memiliki jeda waktu yang dirasa cukup panjang untuk ukuran penanganan bencana.

Sebagai wilayah yang sering dilanda bencana, keberadaan sebuah Sistem Informasi Kebencanaan adalah suatu keniscayaan. Sistem tersebut antara lain terdiri dari fungsi administratif, geografis, prakiraan bencana, peringatan dini, mitigasi, persiapan menghadapi bencana, penanganan tanggap darurat, pemulihan bencana, serta yang tidak kalah penting adalah pendukung keputusan berdasarkan data historis. Sistem Informasi Kebencanaan secara garis besar adalah memanfaatkan kemajuan teknologi dalam upaya untuk menstandarkan, menyusun, dan mengelola data kebencanaan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa hal yang berkaitan dengan kebencanaan, antara lain tentang pengelolaan data kebencanaan. Data kebencanaan terdiri dari data prabencana, data tanggap darurat dan data pasca bencana. Data dan informasi kebencanaan tersebut dapat dikumpulkan dari berbagai sumber, antara lain dari pemerintahan, organisasi relawan, NGO, masyarakat dan berbagai sumber media. Selain itu juga dijelaskan tentang teknik ekstraksi data dan informasi yang berkaitan dengan kebencanaan yang diperoleh melalui media sosial seperti *twitter*.

2.1. Negara Rawan Bencana

Bencana alam, termasuk gempa bumi, banjir, erupsi gunung api, tsunami, dan tanah longsor, sering terjadi di Indonesia. Bahkan lebih dari 200 juta penduduk di Nusantara berpotensi terpapar bencana. Tidak hanya ancaman berupa jatuhnya korban jiwa, kerugian materi dan kerusakan akan memberikan beban bagi pemerintah dalam penyelenggaraan pembangunan nasional. Data BNPB menyebutkan sejak tsunami Aceh 2004 hingga erupsi Merapi 2010, kerugian dan kerusakan akibat bencana besar mencapai sekitar Rp 105 trilyun.

Situasi tersebut mendorong Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) membangun kesiapsiagaan masyarakat. Apalagi kecenderungan kejadian bencana yang akan terus meningkat seiring dampak perubahan iklim dunia. Hal yang harus diantisipasi adalah bencana dapat menurunkan kesejahteraan masyarakat dan menghambat pembangunan nasional [1].

Sebuah laporan yang dipublikasikan Perserikatan Bangsa-bangsa (Asia Pasific Disaster Report 2010) menyebut tsunami di Samudra Hindia, termasuk Aceh dan Nias, pada tahun 2004

menewaskan lebih dari 250.000 orang dengan 45,6 juta jiwa terkena dampak di sejumlah negara. Selanjutnya, pada 2009, gempa berkekuatan 7,6 skala Richter menggoyang Padang, Sumatra Barat dan menyebabkan 1.100 warga meninggal serta merusak lebih dari 300.000 bangunan. Para ilmuwan memperkirakan intensitas dan frekuensi bencana di Asia Pasifik akan meningkat dalam beberapa dekade mendatang akibat buruknya perencanaan perkotaan, buruknya manajemen penggunaan lahan, serta perubahan iklim. Bencana yang menghantam satu negara anggota dapat berdampak terhadap negara lain di kawasan tersebut.

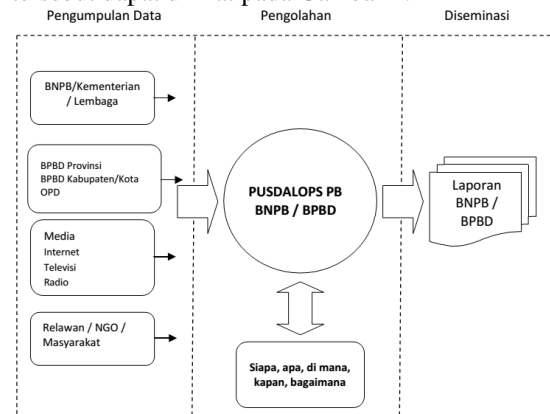
Selain memiliki potensi, kerentanan dan kerugian yang besar dari bencana alam, Indonesia juga rentan terhadap bencana non-alam dan bencana sosial. Bencana akibat lumpur Lapindo dan banjir badang akibat jebolnya dam di Jakarta dan Way Ela merupakan bentuk bencana non-alam akibat kegagalan teknologi serta interaksi antara manusia dengan lingkungannya. Sementara potensi bencana non-alam lainnya seperti epidemi dan wabah penyakit seperti demam berdarah, malaria, dan flu burung juga terus meningkat.

2.2. Bantuan untuk Bencana

Secara umum, masyarakat memiliki anggapan bahwa bencana alam merupakan suatu hal yang tidak dapat diprediksi, tidak menentu, dan suatu peristiwa atau kejadian yang tidak terelakkan atau terhindarkan serta tidak terkendali.

Dengan demikian, masyarakat terdampak dipandang sebagai ”korban” dan penerima bantuan dari pihak luar atau harus segera mendapat pertolongan, sehingga fokus dari penanggulangan bencana lebih pada bantuan dan kedaruratan. Oleh karena itu pada umumnya tindakan yang dilakukan adalah upaya reaktif yang sifatnya kedaruratan, yang menekankan pada penanganan dan pemberian bantuan. Bentuk penanganan biasanya berfokus pada pemenuhan kebutuhan darurat seperti pangan, penampungan darurat, kesehatan dan mengatasi krisis yang dialami oleh masyarakat. Sementara tujuan dari penanganan bencana adalah untuk menekan tingkat kerugian, kerusakan dan cepat memulihkan keadaan [2]. Sebaliknya adanya gunung meletus, tsunami dan lainnya bukanlah merupakan ancaman kalau manusia dapat memahami dan mengetahui karakteristik dari bencana. Dengan kata lain, adanya korban dan kerugian harta benda adalah karena ketidaktahuan manusia atas kejadian alam tersebut [3].

2.3. Alur Pengelolaan Data Kebencanaan

Informasi dalam penanggulangan bencana dimulai sejak pengumpulan, analisis hingga diseminasi informasi yang dilakukan secara cepat, tepat dan benar sebagai bagian dari penanggulangan bencana. Data dan informasi kebencanaan dikumpulkan dari berbagai sumber, antara lain dari pemerintahan, organisasi relawan, NGO, masyarakat dan berbagai sumber media. Data dikumpulkan baik secara langsung melalui wawancara atau pun secara tidak langsung seperti dari internet, televisi, media cetak dan sebagainya. Diagram dari alur manajemen data dan informasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Alur Pengelolaan Data dan Informasi Kebencanaan Menurut BNPB.

Data kebencanaan yang diperoleh dari berbagai sumber merupakan landasan dalam memberikan informasi para pihak yang membutuhkan. Manajemen informasi yang dilakukan meliputi pengumpulan informasi, penyusunan dan penstrukturan informasi, evaluasi dan analisis informasi serta penyebaran informasi. Dalam analisis, BNPB memperhatikan konsep 5W+1H, yaitu apa, di mana, kapan, siapa, mengapa dan bagaimana. Apabila tidak memungkinkan, cukup dengan 3W+1H, yaitu apa, dimana, kapan dan bagaimana.

2.4. Data Prabencana

Data prabencana merupakan basisdata yang dapat digunakan apabila diperlukan. Data ini memberikan gambaran mengenai kondisi geografis, geologis, iklim, ketersediaan sumber daya dan lain sebagainya. Ketersediaan data tersebut akan membantu sebagai informasi awal dalam penanganan bencana.

Profil Daerah berisi data kondisi geografis, geologis, iklim, hidrologi, tata guna lahan, demografi dan lain-lain. Data ini disediakan oleh BPBD/OPD yang menangani penanggulangan bencana yang bersumber dari Organisasi Perangkat Daerah (OPD) yang mengelola data terkait dengan profil daerah.

Data berikutnya adalah tentang ketersediaan sumber daya meliputi logistik (pangan, sandang, logistik lain, paket kematian), peralatan, dan sumber daya manusia. Data jenis ini juga disediakan oleh BPBD/OPD yang menangani bencana, yang bersumber dari OPD yang mengelola data terkait dengan ketersediaan sumber daya.

Data logistik dalam prabencana meliputi pangan yang antara lain berupa makanan pokok (beras, sagu, jagung, ubi, dan lainnya), lauk-pauk, air bersih, bahan makanan pokok tambahan seperti mi, susu, kopi, teh, perlengkapan makan dan

sebagainya. Selain pangan, data logistik juga mencakup sandang, yang antara lain berupa perlengkapan pribadi berupa baju, kaos dan celana anak-anak sampai dewasa laki-laki dan perempuan, sarung, kain batik panjang, handuk, selimut, daster, perangkat lengkap pakaian dalam, seragam sekolah laki-laki dan perempuan (SD dan SMP), sepatu/alas kaki sekolah dan turunannya. Selain itu, logistik juga meliputi, perlengkapan lain yang berupa obat dan alat kesehatan habis pakai, tenda gulung, tikar, matras, alat dapur keluarga, kantong tidur dan sebagainya. Tidak lupa juga barang-barang yang diperlukan jika ada kematian, antara lain kantong mayat, kain kafan dan sebagainya.

Sedangkan data peralatan meliputi segala bentuk peralatan yang dapat digunakan untuk membantu terselenggaranya kegiatan penanggulangan bencana, sehingga dengan bantuan alat tersebut manusia dapat memenuhi kebutuhannya dan dapat melaksanakan fungsi kehidupannya. Termasuk dalam kategori peralatan ini misalnya peralatan kesehatan, peralatan komunikasi, peralatan peringatan dini, peralatan teknik dan sebagainya. Data lain yang termasuk data prabencana adalah yang berkaitan dengan sumber daya manusia seperti relawan, tenaga kesehatan (dokter, perawat, bidan, sanitarian, apoteker, ahli gizi dan lain-lain), TNI/Polri, tenaga SAR, serta desa siaga.

2.5. Data Tanggap Darurat

Data tanggap darurat merupakan rekapitulasi kejadian bencana mulai dari tempat kejadian, korban sampai dengan dampak yang ditimbulkan. Data ini disediakan oleh BPBD/OPD yang menangani bencana yang bersumber dari OPD yang mengelola data terkait dengan tanggap darurat.

Data yang berkaitan dengan jumlah korban dikelompokkan antara lain sebagai korban meninggal, korban hilang, korban luka berat, korban luka ringan, pengungsi, dan korban terdampak. Data tersebut dikelompokkan berdasarkan jenis kelamin dan dipilah lagi berasarkan kelompok usia seperti anak-anak, dewasa, lansia, dan ibu hamil.

Tanggap darurat juga meliputi data kerusakan terhadap permukiman, jalan lingkungan, dan sistem air minum.Selain itu juga meliputi data infrastruktur seperti transportasi darat, transportasi air, transportasi udara, sistem drainase, dan sistem kelistrikan. Data yang berkaitan dengan fasilitas umum yang masih bisa digunakan yang meliputi akses ke lokasi bencanam sarana transportasi, jalur komunikasi, kondisi jaringan listrik, kondisi jaringan air, dan fasilitas kesehatan (rumah sakit atau puskesmas).

Data yang berkaitan dengan relawan yang dimobilisasi yang meliputi asal organisasi, jumlah, keahlian, penempatan, dan tugas. Data yang berkaitan dengan penerimaan bantuan yang meliputi tanggal penerimaan, asal bantuan, jenis bantuan, jumlah bantuan, dan jenis satuan. Data yang berkaitan dengan pendistribusian atau pengangkutan yang meliputi jenis logistik atau peralatan, spesifikasi teknis, jumlah, satuan, dan tujuan pengiriman.

2.6. Data Pasca Bencana

Data pasca bencana merupakan data yang berkaitan dengan upaya rehabilitasi dan pemulihan kemanusiaan. Data yang dibutuhkan adalah data kerusakan aset yang mencakup lima sektor: yaitu pemukiman, infrastruktur, ekonomi produktif, sosial dan lintas sektor. Kerusakan dimaksud meliputi : tingkat kriteria kerusakan rusak berat, rusak sedang dan rusak ringan.

Data pasca bencana juga termasuk penilaian kerusakan dan kerugian berikut status kepemilikan aset. Data pasca bencana tersebut mengacu pada Peraturan Kepala BNPB Nomor 11 Tahun 2008 tentang Pedoman Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana. Data ini kemudian digunakan untuk penilaian kebutuhan pasca bencana, sebagai hasil untuk pelaksanaan rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana. Data ini disediakan oleh BPBD/OPD yang menangani bencana yang bersumber dari OPD yang mengelola data terkait dengan rehabilitasi dan rekonstruksi.

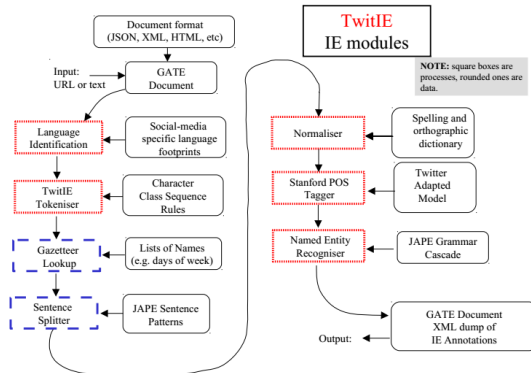
2.7. Ekstraksi Data Kebencanaan dari Internet

Data kebencanaan dapat diperoleh dari berbagai sumber. Selain mengandalkan laporan langsung dari masyarakat dan petugas yang ditunjuk, dapat juga dilakukan ekstraksi informasi dari sumber Internet yang berasal dari media sosial seperti *twitter*. Informasi yang diekstrak dari *twitter* tersebut terlebih dulu akan dimasukkan ke basisdata penampung sebelum dilanjutkan ke tahap filter otomatis dan verifikasi secara manual oleh admin atau petugas yang ditunjuk.

Untuk mendapatkan informasi terstruktur dari teks yang tidak terstruktur seperti *twitter*, hal pertama yang perlu didefinisikan adalah informasi target sebagai informasi terstruktur yang akan diekstrak. Informasi ini dapat berupa entitas ataupun relasi antar entitas. Secara umum, entitas dapat berupa orang, perusahaan, organisasi, atau lokasi. Oleh karena itu, kegiatan utama dalam ekstraksi informasi adalah pengenalan entitas dan ekstraksi relasinya.

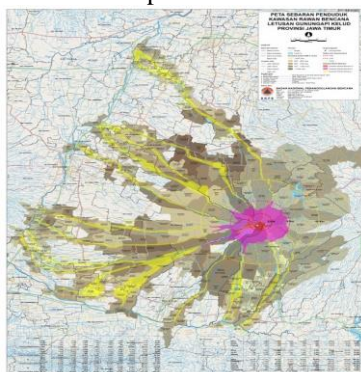
Pengenalan entitas dapat dilakukan dengan memanfaatkan pola kemunculan entitas tersebut pada teks. Pola ini dapat didefinisikan secara manual oleh pakar ataupun didapatkan secara otomatis dengan pembelajaran mesin. Oleh karena itu, terdapat dua pendekatan dalam pengenalan entitas, yaitu pendekatan berbasis aturan dan pendekatan berbasis pembelajaran.

Setelah pengenalan entitas selesai dilakukan, kegiatan berikutnya adalah ekstraksi relasi antar entitas. Dengan mendefinisikan relasi semantik yang mungkin, entitas menjadi argumen dari relasi

tersebut. Pendekatan yang paling umum dalam ekstraksi relasi adalah klasifikasi. Berbagai pendekatan dibedakan oleh fitur yang digunakan[4]. Ekstraksi informasi yang diperoleh dari *twitter* berbahasa Inggris dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Alur ekstraksi informasi dari media twitter berbahasa Inggris.

2.8. Peta Tematik untuk Informasi Kebencanaan

Peta tematik merupakan peta yang menyajikan pola penggunaan data spasial pada tempat tertentu sesuai dengan tema tertentu. Berbeda dengan peta rujukan yang memperlihatkan pengkhususan geografi (hutan, jalan, perbatasan administratif), peta tematik lebih menekankan variasi penggunaan data spasial daripada sebuah jumlah atau lebih dari distribusi geografis. Distribusi ini bisa saja merupakan fenomena fisik seperti iklim atau ciri-ciri khas manusia seperti kepadatan penduduk atau permasalahan kesehatan.

Badan Informasi Geospasial (BIG) BNPB memiliki koleksi data spasial dengan mengembangkan sistem yang disebut dengan Geospasial BNPB. Sistem yang dikembangkan ini berupa website yang menampilkan informasi-informasi terbaru terkait penanggulangan bencana dalam bentuk spasial (keruangan). Sistem ini dapat diakses oleh masyarakat umum melalui alamat http://geospasial.bnpb.go.id. Dengan adanya peta tematik geospasial yang sudah terintegrasi akan mempermudah pendataan. Pemerintah dapat memprediksi jumlah korban yang akan dievakuasi dan rumah yang rusak. Sehingga penanggulangan bencana akan lebih siap.

Gambar 4. Peta kawasan rawan bencana gunung Kelud.

Peta tematik geospasial mempermudah menjelaskan kepada masyarakat dalam mitigasi bencana. Dengan menempelkan peta di desa warga akan mengetahui kemana seharusnya mengungsi jika terjadi bencana. Pemerintah juga dapat menggunakan peta ini sebagai dasar pengambilan kebijakan evakuasi. Hanya saja, peta Indonesia yang dimiliki BIG umumnya dengan skala 1:250.000. Sedangkan untuk dapat mengantisipasi bencana diperlukan peta dengan skala 1:25.000-50.000. Oleh karena peta dengan skala besar tidak mampu memberikan gambaran yang jelas. Contoh peta tematik untuk wilayah gunung Kelud dapat dilihat pada Gambar 4.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk pengembangan model sistem adalah mengikuti metodologi FAST (*Framework for the Application of Systems Thinking*). FAST dikembangkan oleh Whitten sebagai gabungan dari berbagai *best practice* yang dapat ditemui dalam banyak referensi. FAST memiliki sembilan tahapan metodologi [5]. Dalam paper, hanya digunakan sampai tahap keempat saja. Empat tahap yang pertama adalah meliputi penentuan ruang lingkup, analisis permasalahan, analisis kebutuhan, dan tahap desain logis. Agar sederhana dan mudah dipahami, desain logis yang dihasilkan dibuat dengan diagram blok.

Tahap pertama adalah penentuan ruang lingkup, yaitu penentuan batasan dari pengembangan sistem dengan melakukan identifikasi terhadap masalah, inisiatif dan tujuan. Terdapat dua tujuan dari tahap ruang lingkup, yaitu menjawab pertanyaan apakah permasalahan ini cukup bernilai dan mengidentifikasi ukuran, visi, kendala atau batasan yang diperlukan.

Tahap kedua adalah analisis permasalahan yang mempelajari sistem yang sudah ada dan menganalisis temuan-temuan agar memahami secara mendalam atas permasalahan yang ada.

Tahap ketiga adalah analisis kebutuhan yang mendefinisikan dan memprioritaskan kebutuhan bisnis. Dengan kata lain memahami pengguna untuk mengetahui apa yang dibutuhkan atau diinginkan dari sistem baru, dengan menghindari pembahasan tentang teknologi atau teknis pelaksanaan. Ini mungkin merupakan tahap kritikal pada pengembangan sistem karena kesalahan dari hasil analisis ini mengakibatkan ketidakpuasan terhadap sistem akhir yang akan dikembangkan.

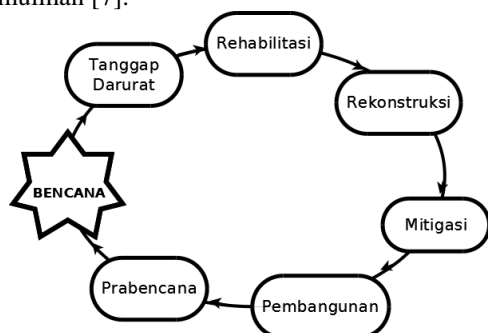
Tahap keempat adalah desain logis yang menerjemahkan kebutuhan bisnis ke dalam model sistem. Istilah desain logis dapat diartikan sebagai teknologi independen dimana makna gambar menggambarkan sistem independen dari setiap kemungkinan solusi teknis, kebutuhan model bisnis yang diinginkan harus dipenuhi oleh solusi teknis yang akan dipertimbangkan.

IV. MODEL SISTEM INFORMASI KEBENCANAAN

Sistem Informasi Kebencanaan meliputi data kebencanaan, akses terhadap informasinya, dan pengelolaan komunikasi di antara seluruh pemangku kepentingan, mulai dari persiapan dan pengurangan risiko, penanganan tanggap darurat, serta pelaksanaan rehabilitasi dan rekonstruksi. TUPOKSI dari seluruh institusi yang terkait perlu diadaptasi ke dalam sistem dengan perubahan seminimal mungkin dengan struktur organisasi yang sudah ada. Hal ini karena perubahan struktur organisasi akan meningkatkan risiko kegagalan implementasi sistem.

Pada paper ini akan dibahas model siklus pengelolaan bencana, model berbagi bersama data (*data sharing*) kebencanaan, dan model penjaringan data kebencanaan. Model siklus pengelolaan bencana dapat digunakan untuk memahami secara garis besar apa yang perlu disiapkan sebelum terjadinya bencana, pada saat terjadi bencana dan tindakan yang perlu dikerjakan pasca bencana.

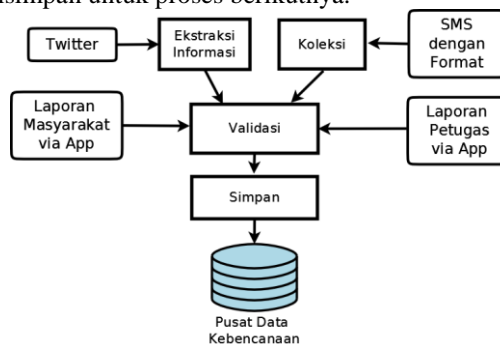
4.1. Siklus Pengelolaan Bencana

Pengelolaan bencana merupakan siklus yang akan berjalan terus-menerus tanpa akhir (lihat Gambar 5). Sebelum terjadinya bencana, perlu dilakukan kegiatan untuk mengantisipasi potensi bencana. Antisipasi bencana dapat berupa kampanye sosial peningkatan kewaspadaan masyarakat terhadap bahaya bencana, peringatan dini, pemasangan rambu evakuasi, ataupun pelatihan [6]. Tanggap darurat merupakan salah satu fase harus dilakukan secara cepat dan tepat. Umumnya masyarakat melihat kinerja suatu penanganan bencana adalah pada fase tanggap darurat ini. Belum muncul komitmen holistik dalam mengupayakan pengurangan risiko, peningkatan kapasitas, maupun perbaikan dalam mitigasi dan pemulihan [7].

Gambar 5. Siklus Pengelolaan Bencana.

4.2. Model Penjaringan Data Kebencanaan

Model penjaringan data (lihat Gambar 6) memberikan gambaran tentang asal dan bagaimana data kebencanaan diproses. Secara umum data kebencanaan dapat diperoleh melalui laporan petugas dan masyarakat. Petugas memasukkan data yang baru diperoleh tersebut ke sistem untuk divalidasi oleh pihak yang berwenang sebelum diproses ke tahap selanjutnya.

Oleh karena tanggap darurat adalah fase yang memerlukan kecepatan dan ketepatan, anggota masyarakat dapat disertakan sebagai sumber data dan informasi secara aktif. Data dan informasi dapat dikumpulkan langsung melalui *twitter* dan SMS dalam format yang telah ditentukan.

Proses selanjutnya akan ditangani oleh mesin dalam melakukan ekstraksi dan pemilahan data awal. Setelah petugas yang berwenang melakukan verifikasi dan validasi, data tersebut kemudian disimpan untuk proses berikutnya.

Gambar 6. Model Penjaringan Data.

Peran media sosial seperti *twitter* pada saat bencana tidak diragukan lagi. Hal ini karena twitter dapat menembus batas waktu, ruang, budaya, dan sekat lain yang membatasi masyarakat.

Gambar 7. Contoh ilustrasi informasi kebencanaan yang diperoleh dari twitter.

Hanya saja data dan informasi yang diperoleh dari *twitter* tidak memiliki struktur yang baku karena pengguna dengan bebas menuliskan apa yang diinginkan tanpa perlu mengikuti aturan tertentu. Dalam hal ini yang terpenting adalah apa yang dikomunikasikan dapat dipahami oleh pihak lain. Pemakai twitter dapat menggunakan perangkat yang sudah ada seperti laptop, desktop, smartphone atau pun gadget jenis lain yang mudah sudah dimiliki.

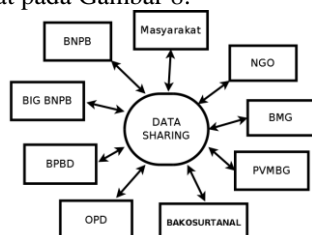
Dengan menggunakan media sosial seperti twitter, memberikan peluang dalam mendapatkan data dan informasi kebencanaan secara cepat. Hanya saja setelah dilakukan ekstraksi, perlu ditindaklanjuti dengan tahap verifikasi dan validasi agar data dan informasi yang diperoleh menjadi bermanfaat. Contoh informasi kebencanaan yang dapat diperoleh dari *twitter* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 7.

4.3. Model Integrasi dan Berbagi Bersama Data Kebencanaan

Data kebencanaan yang terintegrasi jelas akan memberikan manfaat dan informasi yang lebih banyak dibandingkan dengan data yang masih dalam keadaan terpisah. Integrasi akan lebih mudah dilaksanakan jika basisdatanya bersifat homogen. Hanya saja untuk mengintegrasikan data kebencanan tersebut perlu upaya yang tidak kenal lelah, karena basisdata yang dimiliki oleh para pihak adalah bervariasi alias heterogen.

Integrasi dan berbagi bersama data kebencanaan akan mudah tercapai apabila seluruh pemangku kepentingan sudah bersepakat untuk saling mendukung dan memiliki basisdata yang standar. Akan tetapi kenyataan di lapangan tidak semudah yang dibayangkan karena masing-masing pihak telah lama mengembangkan sistem *existing* secara mandiri dan terpisah. Sistem basisdata yang dipergunakan pun juga berbeda-beda. Ada instansi yang menggunakan software bebas atau pun yang berbayar (*proprietary*).

Alternatif yang realistis dalam upaya mengintegrasikan data kebencanaan adalah sebagai model federasi. Model federasi memungkinkan masing-masing pihak untuk tetap mandiri dan otonomi, akan tetapi dapat melakukan *sharing* data [8]. Dengan model federasi, masing-masing pihak tetap memiliki otonomi data dan melakukan pengembangan sistem *existing* secara mandiri.

Agar proses integrasi lebih mudah diwujudkan, diperlukan sebuah standardisasi yang meliputi penamaan field data, lebar data, satuan data, dan sebagainya. Standardisasi merupakan keharusan yang tidak dapat dihindari. Contoh sederhana, satuan panjang yang digunakan perlu disamakan dalam centimeter, jangan sampai ada pihak menyimpan satu panjang dalam meter apalagi dalam inchi. Perbedaan remeh dalam hal satuan tersebut dapat menyebabkan kesulitan saat integrasi dilakukan. Para pihak yang berkepentingan dengan integrasi dan pemakaian bersama data kebencanaan dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8. Model Berbagi Data Kebencanaan antar Instansi.

Peran dari masing-masing pihak yang berkepentingan tersebut dapat dilakukan pada tahap prabencana, tanggap darurat, atau pun pada tahap pasca bencana seperti yang telah dibahas pada Bab 2.

V. KESIMPULAN

Sistem informasi pendataan bencana yang melibatkan masyarakat luas dapat dilakukan antara lain melalui media sosial *twitter* atau SMS yang terlebih dulu dilakukan verifikasi dan validasi sebelum diintegrasikan basisdata kebencanaan pusat.

Basisdata kebencanaan pusat dibentuk dengan mengintegrasikan data spasial dan data alphanumerik yang diperoleh dari seluruh instansi yang berkaitan dengan proses penanggulangan bencana. Data tersebut diintegrasikan sebagai model federasi agar tetap memberikan hak otonomi pemilik aslinya.

Untuk mempermudah proses integrasi data kebencanaan, diperlukan standardisasi data kebencanaan yang meliputi antara lain nama field data, jenis data, lebar data, dan satuan. Selanjutnya standar data kebencanaan tersebut dipakai pada saat pengembangan sistem yang digunakan oleh seluruh instansi yang terkait.

VI. REFERENSI

[1] [1] inAware, “Aplikasi Komprehensif Pendukung Peringatan Dini,” *Gema BNPB*, vol. 4, no. 2, pp. 22–25, 2013.

[2] [2] S. Triutomo, W. Widjaja, and M. R. Amri, “Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia,” BAKORNAS Penanggulangan Bencana, 2007.

[3] [3] A. Widodo, “Sumbangan Pemikiran tentang Fikih Bencana,” presented at the Workshop Fikih Kebencanaan, UMY, Yogjakarta, 2014.

[4] [4] M. L. Khodra and A. Purwarianti, “Ekstraksi Informasi Transaksi Online pada Twitter,” *J. Cybermatika*, vol. 1, no. 1, pp. 1 – 6, 2013.

[5] [5] J. L. Whitten, L. D. Bentley, and K. C. Dittman, *System Analysis and Design Methods - 7th Edition*. McGraw-Hill/Irwin, 2005.

[6] [6] D. Pristiyanto, “Peran daerah dalam implementasi PRB dan API,” *GEMA BNPB*, vol. 5, no. 3, Des-2014.

[7] [7] S. Maarif, “Bencana dan Pembangunan: Tantangan Indonesia Dewasa ini,” *Gema BNPB*, vol. 4, no. 2, pp. 55–61, 2013.

[8] R. Elmasri and S. Navathe, *Fundamentals of Database Systems*, 6th ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2010.

Karya bangsa di bidang bencana ini, merupakan persembahan dari ITS yang didukung oleh :

BADAN NASIONAL PENANGGULANGAN BENCANA

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) adalah Lembaga Pemerintah Non Kementerian, yang dibentuk berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007. BNPB dipimpin oleh seorang kepala, berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Presiden. Tugas pokok, fungsi, dan kelembagaan BNPB diatur dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2008.

BNPB

MANAJEMEN BENCANA
DARI ITS UNTUK BANGSA

"Kami menyampaikan apresiasi dan terimakasih kepada civitas academica ITS yang secara konsisten selalu mendukung langkah langkah pengarusutamaan pengurangan risiko bencana atau "mainstreaming DRR" di Indonesia. Buku ini akan sangat bermanfaat bagi para akademisi, peneliti serta praktisi kebencanaan untuk lebih memahami karakteristik ancaman dan kerentanan yang menimbulkan risiko bencana. Diharapkan dengan terbitnya kumpulan hasil penelitian ini kita bisa lebih memahami karakter bencana di Indonesia serta dapat dirumuskan solusi penanganannya. Inilah bukti bahwa kita mampu memanfaatkan tanah air kita sebagai laboratorium alam untuk kebencanaan."

B. Wisnu Widjaja.
Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan BNPB

"Ilmu pengetahuan adalah jendela untuk mengenal pasti komponen risiko bencana dengan baik dan benar, sehingga pengurangan resiko bencana dapat dilakukan dengan baik, benar dan efektif, dan efisien. Rasanya tidak diragukan lagi serangkaian tulisan yang dihadirkan dalam buku ini adalah salah satu jendela itu."

Dr. Eko Teguh Paripurno.
FPT PRB dan Penerima Sashakawa Award UNISDR

"Membaca buku ini memerlukan waktu dan minat khusus, tanpa itu dengan cepat buku ini hanya akan memenuhi rak buku, karena ini buku sungguh serius, bukan bacaan Santai. Membaca tulisan ilmiah yang 19 di antara 42 tulisannya berbahasa Inggris memang pantasnya dibaca terutama untuk para mahasiswa Pascasarjana yang menekuni bidang manajemen bencana dan sebenarnya pantasnya dibaca oleh para pejabat BNPB, BPBD, staf ahli DPR/DPRD, Kementrian/Lembaga, para pembisik pejabat negara, sehingga penanggulangan bencana ini bisa lebih maju dibanding capaian 10 tahun terakhir ."

Iskandar Leman
Masyarakat Penanggulangan Bencana Indonesia (MPBI)